



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES  
INSTITUTO DE INGENIERÍA

Diseño de un dispositivo de generación  
eléctrica, eólico-solar, para el  
abastecimiento de aparatos electrónicos.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

Ingeniera en Energías Renovables

PRESENTA:

Daniela Pardo Rea

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Osvaldo Rodríguez Hernández

Temixco, Morelos 2018



**IER**  
Instituto de Energías  
Renovables



**INSTITUTO  
DE INGENIERÍA  
UNAM**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



# Dedicatoria

A mi familia y amigos que siempre están presentes.



# Agradecimientos

Agradezco al Dr. Osvaldo Rodríguez Hernández por su apoyo y asesoría en mi proyecto.  
Al MDI. Julián Covarrubias por su ayuda y consejos para el diseño del dispositivo.  
Al Ing. Guillermo Hernández Cruz y José Campos Álvarez por facilitarme herramientas para la caracterización y diseño del circuito.  
Al Ing. Héctor Daniel Cortés González por su asistencia en la manufactura del circuito.  
Al M.I. David Roberto Domínguez Lozoya por su ayuda en la manufactura de elementos estructurales del dispositivo electrónico.  
A la Dr Karla Graciela Cedano Villavicencio por asesoría en cuanto a la protección legal del dispositivo electrónico.  
Al Laboratorio de Tecnologías Abiertas del Instituto de Energías Renovables.  
Al proyecto 272063 "Fortalecimiento del campo de Energía Eólica en el Programa de Doctorado en Ingeniería Campo de conocimiento en Energía con sede en el Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México."  
Al convenio de colaboración entre el Instituto de Energías Renovables (IER-UNAM) y el Posgrado de Diseño industrial (PDI-UNAM).



# Resumen

El aumento de población y la demanda de energía eléctrica vuelve necesario el desarrollo de tecnologías que inviten a las nuevas generaciones a formar parte de los campos relacionados con las energías amigables con el medio ambiente. La energía solar y eólica son consideradas en el proyecto por el grado de evolución que han alcanzado a nivel mundial y debido a la competencia en el mercado.

Por esa razón se desarrolló el diseño y la manufactura de un dispositivo con generación eléctrica, eólico-solar, para el abastecimiento de aparatos electrónicos.

El proyecto representa una opción para resolver la necesidad energética que presentan los individuos que requieren recargar sus teléfonos celulares, tabletas electrónicas, baterías de respaldo, entre otros, a través del aprovechamiento del recurso solar y eólico, incorporando el enfoque del diseño industrial.

El dispositivo desarrollado tiene un doble fin es una herramienta para la divulgación de las energías renovables y busca crear conciencia sobre las implicaciones que existen al generar energía eléctrica en el mundo.

Para el desarrollo del proyecto, se identificaron los requisitos eléctricos del sistema de almacenamiento de energía; el siguiente paso fue el dimensionamiento eólico y solar. Con estos datos los componentes fueron integrados a través de un circuito eléctrico, diseñándose así la parte estructural que contiene todos los elementos, los cuales fueron acoplados y finalmente se desarrollaron las pruebas de funcionamiento.

La máxima potencia generada por la turbina eólica fue de 3.8 W a 7.7 m/s y al regular el voltaje al nominal fue de 0.5 W, mientras que la potencia máxima que presentó el arreglo fotovoltaico es de 1.2 W y al regular el voltaje al nominal fue de 1 W. Lo anterior ocasionó en que el tiempo de carga de la batería fuera más lento.

No obstante al resultado anterior, se ratificó que el uso de la energía eólica y solar para mini potencia es factible y la combinación de estas fuentes de energía es exitosa porque se complementan.

Otro hallazgo en el proyecto es que el primer prototipo del dispositivo eléctrico es funcional e innovador, sin embargo a partir de las pruebas de uso se identificaron aspectos



del diseño que se pueden mejorar. También se encontró que el diseño industrial de éste puede ser fabricado para una pequeña producción por medio de la impresión 3D y para una mayor producción a partir de la manufactura por inyección de plásticos.

Dentro del aspecto social que puede representar el proyecto es que al hacerse tan accesible en la cotidianidad de las personas, se da lugar a la reflexión sobre lo que implica producir electricidad y es posible generar un impacto positivo en la educación.

Este dispositivo es el principio de la creación de un nuevo producto, todavía existen aspectos del diseño y funcionamiento que deben ser probados para obtener el mejor resultado, con la finalidad de poder protegerlo como modelo industrial y comenzar a comercializarlo.

# Índice general

<b>Índice general</b>	<b>IX</b>
<b>Introducción</b>	<b>3</b>
Justificación . . . . .	4
Objetivo general . . . . .	5
Objetivos específicos . . . . .	5
Estructura del trabajo . . . . .	5
<b>Marco teórico</b>	<b>7</b>
Energías renovables . . . . .	7
Energía eólica . . . . .	9
Recurso eólico . . . . .	9
Dimensionamiento de sistemas eólicos . . . . .	11
Estimación de potencia . . . . .	12
Energía Solar . . . . .	14
Dimensionamiento de sistemas solares . . . . .	15
Estimación de la potencia . . . . .	16
Conexión en serie . . . . .	17
Conexión en paralelo . . . . .	17
Orientación de los módulos . . . . .	18
Diseño industrial . . . . .	18
Proceso del diseño industrial . . . . .	19
Divulgación de la ciencia . . . . .	20
Divulgación de la ciencia en México . . . . .	21
<b>Dimensionamiento eólico y solar</b>	<b>25</b>
Energía eólica . . . . .	25
Recurso eólico . . . . .	25

Energía solar . . . . .	29
Recurso solar en Temixco Morelos . . . . .	29
<b>Integración</b>	<b>33</b>
Componentes del dispositivo . . . . .	33
Selección de la batería . . . . .	34
Generadores eléctricos . . . . .	35
Caracterización de generadores . . . . .	36
Generador 15 . . . . .	39
generador 18 . . . . .	41
generador 19 . . . . .	42
Velocidad de rotación . . . . .	44
Coeficiente de potencia . . . . .	46
Tiempo de carga de la batería . . . . .	47
Tiempo de carga de la batería con el recurso eólico . . . . .	47
Tiempo de carga de la batería con el recurso solar . . . . .	48
Comparación del tiempo de carga de la batería con la red eléctrica y las fuentes de energía renovable . . . . .	49
Circuito eléctrico . . . . .	50
<b>Proceso de diseño</b>	<b>55</b>
Proceso para la obtención del producto final . . . . .	55
Diseño y manufactura de los elementos estructurales . . . . .	56
Eje . . . . .	56
Diseño y manufactura de la carcasa . . . . .	57
Estudio de configuración . . . . .	58
Caso 1 . . . . .	58
Caso 2 . . . . .	60
Diseño de la carcasa . . . . .	61
Mecanismo para acceder a los paneles fotovoltaicos . . . . .	63
Manufactura de la carcasa y las bisagras de los paneles fotovoltaicos . . . . .	64
Manufactura para el producto final. . . . .	66
Manufactura por impresión 3D . . . . .	68
Material seleccionado . . . . .	68
Proceso de manufactura . . . . .	69
Costos de producción . . . . .	69

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	1
Manufactura por inyección de plásticos . . . . .	70
Material seleccionado . . . . .	71
Proceso de manufactura . . . . .	71
Costos de producción . . . . .	72
Costo del dispositivo . . . . .	73
Análisis del perfil del usuario . . . . .	73
<b>Análisis y resultados del producto final</b>	<b>75</b>
Dispositivo ensamblado . . . . .	75
Pruebas realizadas . . . . .	77
Recurso solar . . . . .	77
Recurso eólico . . . . .	78
Carga de dispositivos electrónicos . . . . .	80
Propuestas para mejorar el proyecto a futuro . . . . .	80
<b>Conclusiones</b>	<b>83</b>
<b>Anexos</b>	<b>85</b>
Perfil de diseño del producto (PDP). . . . .	85
Aspectos generales . . . . .	85
Aspectos de Mercado . . . . .	85
Aspectos de distribución . . . . .	87
Aspectos productivos . . . . .	87
Aspectos funcionales . . . . .	88
Aspectos tecnológicos . . . . .	88
Aspectos ergonómicos . . . . .	89
Aspectos estéticos . . . . .	90
Requerimientos especiales . . . . .	90
Requerimientos de ciclo de vida . . . . .	90
<b>Bibliografía</b>	<b>93</b>



# Introducción

Actualmente el uso de dispositivos electrónicos es parte de la vida cotidiana, la forma más común de hacerlos funcionar es por medio del uso de energía proveniente de la red eléctrica. La energía eléctrica puede provenir de fuentes no renovables y renovables, siendo que en la actualidad en su mayoría es energía se produce con fuentes no renovables, las cuales tienen un alto impacto ambiental.[IPCC, 2011]

Lo anterior sembró la inquietud de conocer si la población sabe el origen de la generación de energía y tiene conciencia sobre el impacto ambiental que tiene el estilo de vida de cada uno.

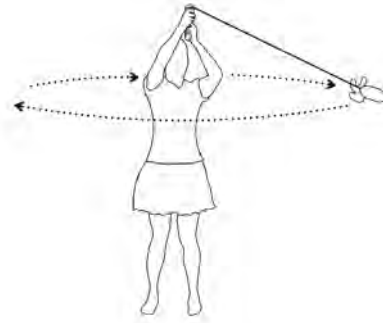
Se estimó importante acercarse a la sociedad un proyecto que además de ser útil, pueda ejemplificar de manera vivencial la generación de energía renovable, específicamente solar y eólica. De la sensibilización social puede surgir una conciencia que nos ayude a transitar a las energías renovables, lo cual además de ser importante en sí mismo, se hace indispensable pues atravesamos conflictos ambientales como el calentamiento global ocasionado por los gases de efecto invernadero, por lo que es primordial que la población conozca las diversas formas de generar energía.

Las nuevas alternativas son las energías renovables. Según [Franco et al., 2016] el 44.9 % de los mexicanos está interesado en saber sobre ellas y el 38.7 % considera que es muy difícil entenderlas. Esto solo demuestra que la divulgación científica sobre el tema aún es deficiente.

Existen diversas formas de sensibilizar a las personas sobre la importancia de las energías renovables, como utilizando medios de comunicación, realizando talleres sobre el tema, en exhibiciones de museos, etc. La forma de divulgar la ciencia depende del público al que está dirigida la información y del contenido de ésta, por lo cual el propósito de este proyecto es crear un dispositivo de generación eléctrica, eólico-solar, para el abastecimiento de aparatos eléctricos, que funcione como una herramienta para difundir las energías renovables, su funcionamiento y concientizar a las personas sobre el valor de la energía.

El trabajo contiene el dimensionamiento solar y eólico para el abastecimiento de una batería de respaldo, donde se integran los componentes a través de un circuito eléctrico. El dispositivo es interactivo, se puede recargar directamente con el recurso solar a través de paneles fotovoltaicos, eólico y a falta de ambos, se incorporó la posibilidad de recargarlo manualmente girándolo a efecto de que las aspas del rotor giren y generen energía como se presenta en el siguiente diagrama 1.

Figura 1: Diagrama de uso del dispositivo electrónico



El diseño del dispositivo forma parte del proyecto para hacerlo un producto llamativo y fácil de usar, en esto el diseño industrial toma un papel relevante en la creación de las partes estructurales del aparato.

Este trabajo busca invitar a reflexionar a las personas sobre lo que implica producir electricidad y el costo ambiental que tiene, así como crear conciencia sobre el consumo de electricidad a través de la apropiación tecnológica.

## Justificación

Debido a la necesidad de generar alternativas de producción de energía limpia y la concientización de las personas del valor de la energía. Se realizan esfuerzos para la difusión de las energías renovables.

En el presente proyecto busca una solución para la necesidad energética que presentan las personas que cuentan con algún gadget (dispositivo electrónico), se creó un artefacto capaz de almacenar energía útil para la recarga de dispositivos electrónicos a partir de fuentes renovables, específicamente solar y eólica.

La intención del dispositivo electrónico creado es sensibilizar a los individuos sobre las nuevas alternativas energéticas y su importancia en nuestro planeta a partir de la apropiación tecnológica.

Este proyecto busca ser sustentable, integrando los aspectos económicos; que el dispositivo sea accesible, sociales; que se logre una concientización sobre lo que cuesta generar la energía y por último la parte ambiental; por el uso de energías renovables.

También se involucra la parte del diseño industrial, con el fin de generar un producto útil y estético que beneficiará la interacción con el usuario.

## Objetivo general

Diseñar de un dispositivo de generación eléctrica, eólico-solar, que funcione para el abastecimiento de aparatos electrónicos.

## Objetivos específicos

- Dimensionamiento eólico y solar para el abastecimiento energético de una batería de respaldo.
- Integración de los componentes eléctricos a partir de un circuito.
- Desarrollo del primer prototipo con un perfil de usuario final.

## Estructura del trabajo

Con la finalidad de abarcar los objetivos mencionados anteriormente el presente documento consta de siete capítulos. El primer capítulo expone la introducción al proyecto, la justificación, los objetivos y la estructura del trabajo. El segundo capítulo presenta el marco teórico referente al contexto actual de las energías renovables, los aspectos más importantes de la energía eólica y solar, la importancia que tiene el diseño industrial en este tipo de proyectos y la necesidad de divulgación científica en cuanto a las energías renovables a través de la educación. El tercer capítulo contiene el dimensionamiento solar y eólico. El cuarto capítulo muestra las pruebas efectuadas para la selección de los componentes eólicos y solares y la integración de elementos electrónicos a través de un circuito. El quinto capítulo incorpora los aspectos del diseño industrial como: el estudio de configuración, el diseño y manufactura de los elementos estructurales del dispositivo,



características del producto, el costo del producto final, el perfil de usuario y las propuestas de manufactura final a corto y largo plazo. El sexto capítulo contempla el análisis y los resultados del producto final, también se presenta una lista con observaciones para mejorar el producto. Por último en el séptimo capítulo se desarrollan las conclusiones y observaciones derivadas del trabajo.

# Marco teórico

En el presente capítulo se exponen los temas que sostienen este proyecto multidisciplinario. Se abordan las generalidades de las energías renovables, haciendo énfasis en la eólica y solar, asimismo se plantean los principales conceptos del diseño industrial que contribuyen a la creación de un producto y se da a conocer un panorama general sobre el estado de la divulgación científica en México.

## Energías renovables

La energía es fundamental en nuestra sociedad, forma parte del desarrollo económico y tecnológico. Sin embargo la forma de generarla puede ser dañina para nuestro planeta. Por esta razón se hace distinción entre la energía renovable y la no renovable.

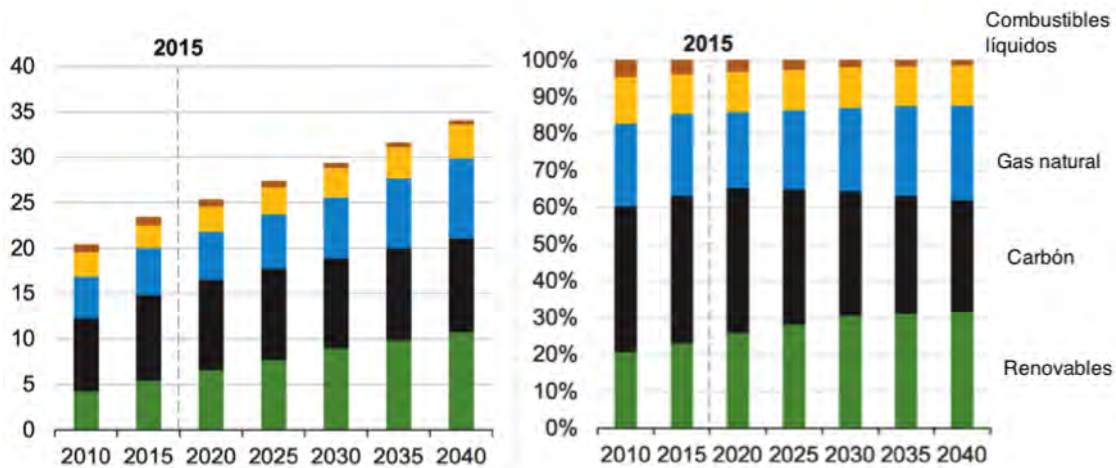
La energía no renovable que se define como aquella que se genera a partir de recursos finitos en la tierra, no pueden renovarse y contaminan en mayor medida que las energías renovables. Algunos ejemplos de recursos no renovables son los combustibles fósiles como el carbón, petróleo y gas natural. [Tiwari and Mishra, 2012]

Por otro lado se encuentra energía renovable que se produce a partir de recursos naturales, son limpias (contaminan menos) y se pueden restablecer por si mismos en periodos cortos de tiempo. Los recursos renovables son: el sol, el viento, el movimiento del agua, la biomasa y el calor de la tierra. Dichos recursos pueden ser utilizados para generar energía eléctrica o energía calórica. [Tiwari and Mishra, 2012]

De acuerdo a lo anterior este proyecto se enfoca en el uso de las energías renovables, esencialmente la energía eólica y solar para la generación de electricidad.

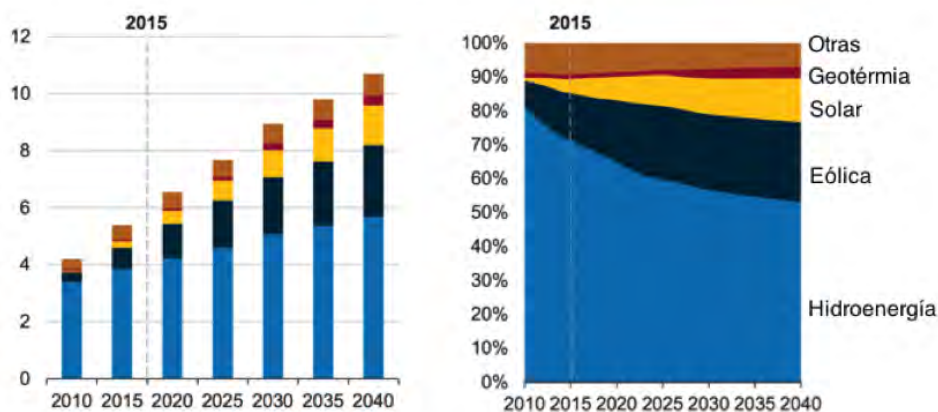
De acuerdo con la Administración de Información Energética [EIA, 2017] el panorama de las energías renovables en el mundo se presenta a continuación con la gráfica expuesta en la figura [2] del uso porcentual de las energías renovables en el mundo a partir del 2010 hasta el 2040.

Figura 2: Gráfica modificada de Generación de energía eléctrica en el mundo por tipo de combustible en trillones de kilowatts hora y por porcentaje de generación [EIA, 2017]



De la gráfica anterior se observa que las energías renovables alcanzarán un 30 % para el año 2040, mientras que los combustibles fósiles disminuirán su porcentaje. Las fuentes de energía renovable que representan esta porción se muestran en la siguiente gráfica 3 .

Figura 3: Gráfica modificada de la generación eléctrica en el mundo por energías renovables en trillones de kilowatts hora y por porcentaje de generación [EIA, 2017]



En la gráfica anterior , las principales fuentes de energía renovable que se utilizarán son: hidroeléctricas, eólica , solar y geotermia. Sin embargo la producción con centrales hidroeléctricas disminuirá de un 71 % en el 2015 y 53 % para el 2040, mientras que la solar y eólica seguirán creciendo.

Enfocándonos en México, actualmente se están tomando medidas para la implementación de las energías renovables, según la Secretaría de Energía [SENER, 2017] se espera que del 2017 al 2031 las energías renovables crezcan a una tasa media anual de 7.8%. El panorama presentado en dicho documento indica que la energía eólica y solar tendrán el mayor crecimiento en el área de las energías renovables.

De acuerdo con [EIA, 2016] la reforma energética es una de las alternativas legales que se están llevando a cabo en México, dicha reforma considera al gas natural como fuente de energía limpia y es la que presenta el mayor crecimiento, sin embargo las energías renovables que tendrán el mayor desarrollo serán la solar y eólica.

Debido a que la generación de energía por medio del sol y el viento se muestran crecientes en el panorama de México y el mundo, es importante que las personas entiendan qué son y cómo funcionan, hay que concientizar a la población sobre lo que ocurre actualmente con la energía y es por ello que se crea un dispositivo que funciona con energía solar y energía eólica con el fin de difundir y mostrar el principio de funcionamiento de estas fuentes renovables para abastecer la demanda de un dispositivo electrónico.

## Energía eólica

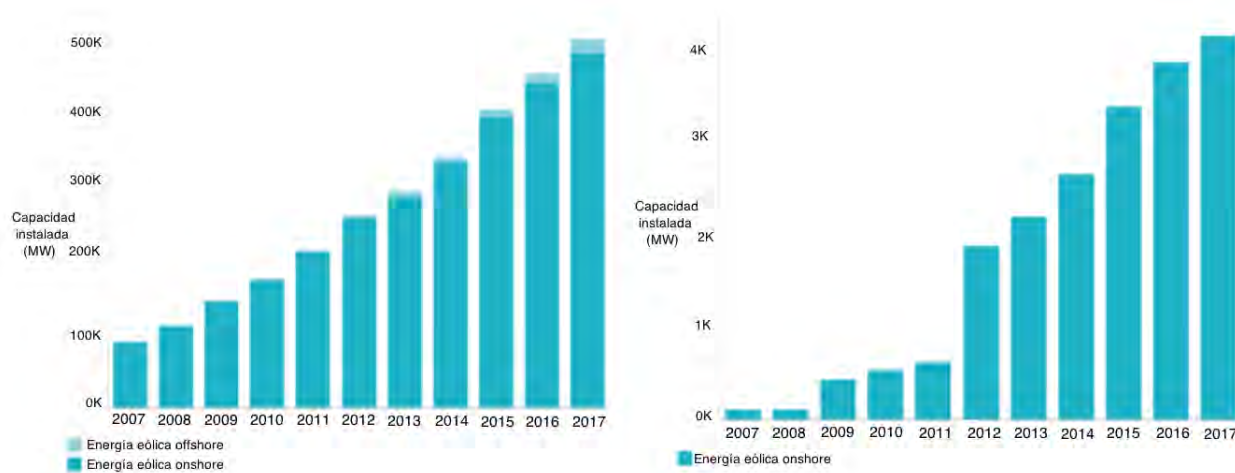
En esta sección se abordan las principales características del recurso eólico, los elementos de las turbinas de viento y la presencia de la energía eólica a nivel nacional y mundial.

### Recurso eólico

El recurso eólico proviene de las diferencia de presión existente en la superficie de la Tierra que es ocasionada por el calentamiento irregular generado por la radiación solar. A partir de este fenómeno se producen corrientes de viento que se mueven de las zonas de mayor presión a las de menor presión. [Manwell et al., 2010] .

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energías Renovables [IRENA, 2017] desarrollo que ha presentado la energía eólica en los últimos años ha ido incrementando. Dicho progresos se observa a continuación en las gráficas siguientes.

Figura 4: Gráficas modificadas de la tendencia de capacidad instalada de energía eólica en el mundo (izquierda) y en México (derecha).[IRENA, 2017]



En la figura previa se observa que la capacidad instalada de energía eólica en el mundo es creciente y el mayor porcentaje es de energía eólica onshore.

Para la perspectiva mundial en el 2017 se presenta una capacidad instalada de 513,939 MW que representa el 23.6% del total de capacidad instalada en el mundo de energías renovables. [IRENA, 2017]

Por otro lado, en México la capacidad instalada de energía eólica en el 2017 representó el 21.1% del total en las energías renovables, es la segunda energía renovable con mayor capacidad de instalación después de la energía hidráulica.

Los escenarios expuestos con anterioridad nos indican que la energía eólica es una buena opción para la generación de energía en México y el mundo, aún nos quedan retos que superar como la creación de nuevas políticas que favorezcan las energías renovables, la adaptación de la sociedad, el avance tecnológico, etc. Pero ya es un hecho que la energía eólica formará parte importante de nuestra matriz energética.

## Dimensionamiento de sistemas eólicos

Un aerogenerador es un dispositivo que convierte la energía cinética contenida en el viento en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica, los aerogeneradores pueden ser de eje vertical u horizontal.

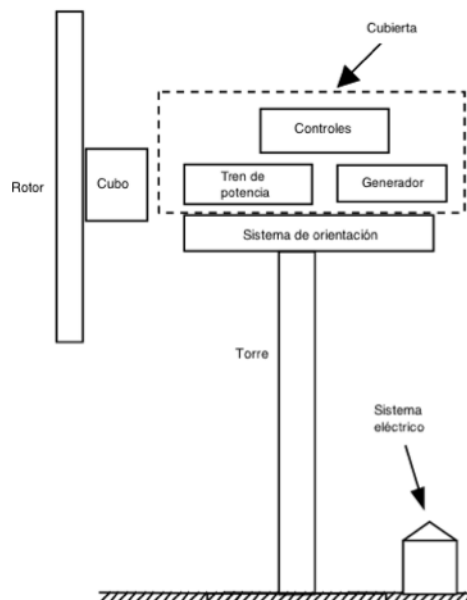
El proceso de funcionamiento de una turbina eólica es: rotor convierte la energía cinética del viento en movimiento, el cual es transmitido al generador que transforma la energía mecánica en energía eléctrica, posteriormente esta se transporta hacia un transformador, pasa por una subestación que eleva la tensión para después enviarla a la red eléctrica.

Según [Manwell et al., 2010]. los componentes principales de los aerogeneradores son:

- Rotor: se conforma por las palas y el cubo que las soporta.
- Tren de potencia: aquí se encuentran las partes rotanres, ejes, caja de engranes, acoplamientos, el generador, sistema de freno y orientación.
- Góndola: es la cubierta del tren de potencia, el generador y la máquina de controles
- Torre: soporta la turbina eólica
- Sistema eléctrico: cables, transformador, inversor y convertidor.

En la siguiente ilustración se observa la configuración de una turbina eólica de eje horizontal.

Figura 5: Componentes principales de una turbina eólica de eje horizontal. (ilustración modificada) Manwell et al (2009).



Los aspectos más importantes para el diseño de una turbina eólica son:

- Número de palas
- Orientación del rotor (Barlovento o Sotavento.)
- Control de la potencia va aerodinámica o por ajuste en la orientación de palas.
- Material de las aspas, perfil aerodinámico y la forma de construcción.
- Diseño del cubo.
- Velocidad del rotor (fija o variable).
- Orientación (fija o variable).
- Tipo de generador (síncrono o de inducción)
- Caja de engranes o transmisión directa al generador.

A grandes rasgos el sistema eléctrico de un aerogenerador consiste en el rotor conformado por el buje y las aspas, la caja de engranes que modifica las revoluciones por minuto, el generador eléctrico que transforma la energía mecánica en eléctrica, los condensadores que estabilizan la potencia, el transformador que modifica la corriente y la red eléctrica. En este trabajo se diseña un aerogenerador mini, por lo que se puede prescindir de la caja de engranes, y en lugar de mandar la energía a la red eléctrica se usa un sistema de almacenamiento.

### Estimación de potencia

La potencia que puede extraer una turbina eólica del viento está dada por la potencia aerodinámica, el coeficiente de potencia y la eficiencia de los elementos que la conforman. La potencia aerodinámica se deriva de la energía cinética del viento.

$$E_c = \frac{1}{2}mU^2 \quad (1)$$

donde  $m$  es representa la masa y  $U$  la velocidad del fluido, de acuerdo a la mecánica de fluidos el flujo másico esta en función de la densidad del fluido, la velocidad del flujo y el área.

$$\dot{m} = \frac{dm}{dt} = \rho AU \quad (2)$$

Por lo tanto la potencia aerodinámica está dada por

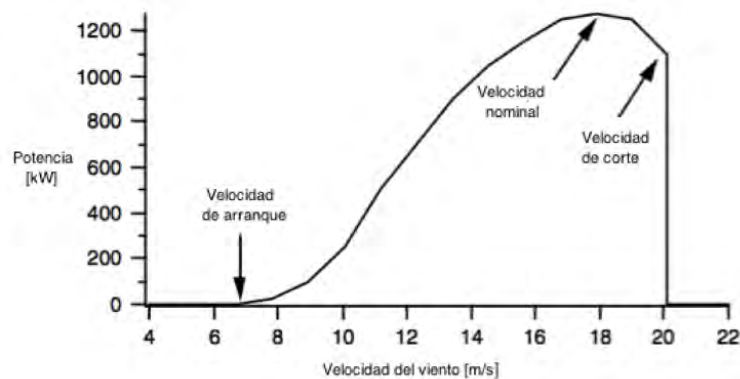
$$P_{aero} = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} U^2 = \frac{1}{2} \rho A U^3 \quad (3)$$

Para calcular la potencia del aerogenerador del viento se debe considerar el coeficiente de potencia, que representa la fracción de la potencia contenida en el viento que se puede convertir en trabajo mecánico. La expresión matemática utilizada es. [Burton et al., 2011]

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho A U^3} = \frac{\text{Potencia del rotor}}{\text{Potencia del viento}} \quad (4)$$

El coeficiente de potencia tiene un valor teórico máximo dado por la teoría del límite de Betz de 0.593. Las características que pueden modificar el coeficiente de potencia son: el número de palas, características aerodinámicas de las aspas, distribución de la cuerda en las palas, el tamaño de las aspas, la torsión de las aspas y la velocidad del viento. Cada turbina cuenta con una curva de potencia, la cual ayuda a predecir la producción energética. Un ejemplo se muestra a continuación. [Manwell et al., 2010]

Figura 6: Gráfica modificada de la curva típica de potencia de una turbina eólica. [Manwell et al., 2010]



Las partes más importantes de la curva de potencia de un aerogenerador son:

- Velocidad de arranque: velocidad del viento mínima a la que la turbina eólica puede producir energía.
- Velocidad nominal: velocidad del viento en la que la turbina eólica presenta la potencia nominal, generalmente es la potencia máxima de salida del generador.
- Velocidad de corte de salida: velocidad máxima del viento en la que la turbina puede suministrar energía. El aerogenerador deja de operar para evitar daños en el dispositivo.



Los detalles de los cálculos para el dimensionamiento eólico se presentan en el capítulo dedicado al dimensionamiento del dispositivo.

## Energía Solar

Toda la energía que hay en el planeta proviene del sol, con excepción de la energía geotérmica que se origina del centro de la Tierra. Dicha energía la recibimos en forma de radiación solar, la cual puede ser aprovechada para las necesidades energéticas del ser humano.

La energía solar es renovable ya que se considera una fuente inagotable debido a la larga vida del sol, se utiliza principalmente para producir energía en forma de calor y energía eléctrica.

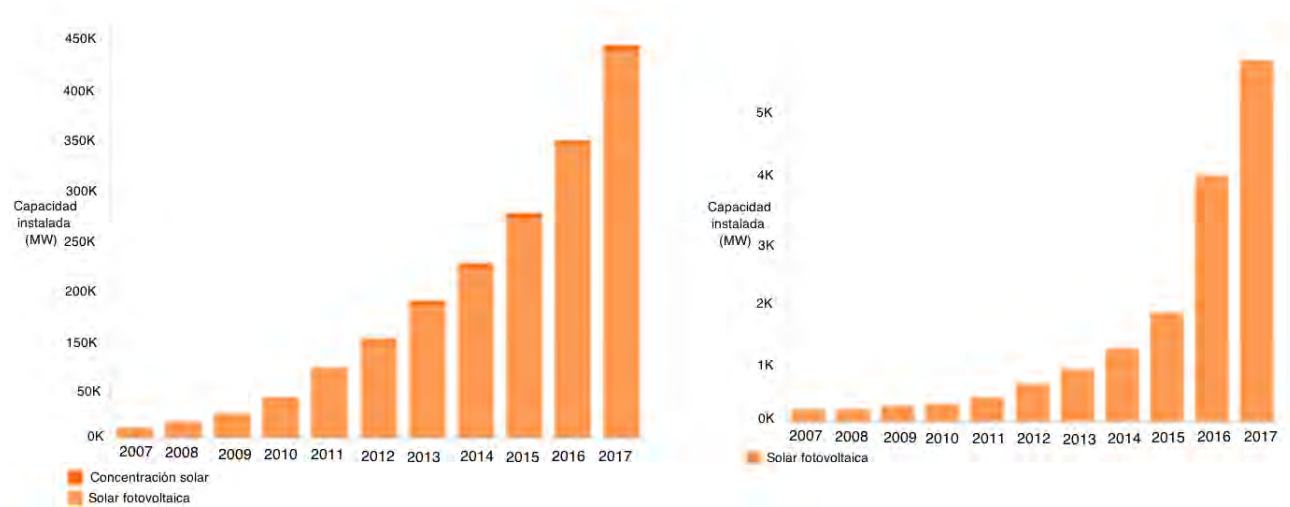
La radiación solar es diferentes en cada región del planeta por el ángulo de declinación, el movimiento de rotación y traslación. También depende de las condiciones atmosféricas como: la dispersión; que se presenta cuando la radiación solar interacciona con las partículas de la atmósfera y redirecciona las ondas electromagnéticas, la reflexión; ocurre cuando las nubes reflejan la radiación incidente y la absorción; sucede cuando las moléculas de ozono, vapor de agua o dióxido de carbono reciben la radiación solar y aumentan su temperatura. Estos fenómenos disminuyen al rededor de un 23 % la cantidad de radiación extraterrestre incidente. [Meinel and Meinel, 1982]

Al final toda la radiación que incide en la superficie terrestre esta compuesta por la radiación difusa, terrestre y directa.

La radiación difusa es la proveniente del sol después de ser desviada por la dispersión de la atmósfera, la radiación directa es la que viene directamente del sol y no presenta ninguna desviación en su trayectoria y la radiación terrestre es aquella que generan los objetos en nuestro planeta.

De acuerdo con datos obtenidos de [IRENA, 2017]. La producción de energía solar en el mundo, a continuación se expone en la figura 7 el panorama de la energía solar en el mundo y en México.

Figura 7: Gráfica modificada de la capacidad instalada de energía solar en el mundo (izquierda) y en México (derecha) [IRENA, 2017]



En la gráfica del panorama mundial la máxima capacidad de instalada de energía solar se presentó en el 2017 con 390,625 MW que representa el 17.9 % del total de capacidad instalada en el mundo de energías renovables.

Por otro lado la gráfica de México indica que por ahora solo existe la generación eléctrica a partir de fotovoltaica. En el 2017 se obtuvo una capacidad instalada de 570 MW que representa el 2.9 % de la capacidad instalada en cuanto a energías renovables.

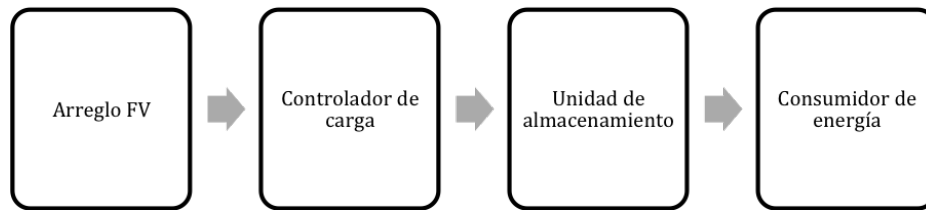
El desarrollo de este tipo de generación eléctrica ha sido lento, sin embargo México es un de los países con más radiación solar y puede ser aprovechada para fines energéticos.

## Dimensionamiento de sistemas solares

Un factor importante para el dimensionamiento de sistemas solares es la estimación de la radiación solar de un sitio determinado. Existen dos maneras de determinarla; la medición *in situ* y la evaluación por medio de imágenes satelitales.

Una vez evaluado el recurso solar se realiza al análisis del proceso de alimentación fotovoltaica, este puede ser por medio de un sistema autónomo o conectado a la red eléctrica. En este proyecto se utiliza el modelo de sistema autónomo, el cual queda ejemplificado en la siguiente ilustración

Figura 8: Proceso de alimentación fotovoltaica goetzberger2005photovoltaic



En el diagrama anterior se observa que el primer paso es hacer el arreglo fotovoltaico; el cual se hace a partir de las necesidades del usuario y el recurso solar del sitio donde se quiera llevar a cabo el proyecto, después se tiene un controlador de carga; cuya función es regular los valores eléctricos de la energía, posteriormente se transfiere la energía a una unidad de almacenamiento y por último se extrae la energía cuando el usuario lo requiere. Este tipo de integración no requiere de reguladores que transformen la corriente en alterna, ya que la corriente directa que viene desde el panel cuenta con las características necesarias para la mayoría de dispositivos electrónicos que tiene el consumidor de energía. [Goetzberger and Hoffmann, 2005]

## Estimación de la potencia

La potencia que se puede obtener de las celdas fotovoltaicas depende de la corriente y el voltaje que estas produzcan. El voltaje se relaciona directamente a los materiales semiconductores de la celda, mientras que la corriente es proporcional a la radiación solar que incide sobre esta.

Idealmente el voltaje no varía, lo que cambia es la corriente con la radiación, sin embargo la estos valores pueden ser modificados por la temperatura. La potencia de las celdas solares de silicio cristalino cae de 0.4 a 0.5 %/K y la del silicio amorfo cae de 0.2 a 0.25 %/K. [Goetzberger and Hoffmann, 2005]

La potencia nominal de las celdas o módulos solares se mide bajo las condiciones específicas internacionales (STC, Standard Test Conditions), se reporta en pico watts ( $Wp$ ) y se conoce comúnmente como potencia pico.

La eficiencia de las celdas solares depende de cada tecnología y material utilizado. La sensibilidad de estas varía por los rangos espectrales de la que pueden absorber de la radiación incidente.

El factor de llenado (FF fill factor) de las celdas de silicio cristalino esta alrededor de 0.7 a 0.8 y el de las celdas de silicio amorfo ronda entre el 0.5 al 0.7 [Goetzberger and Hoffmann, 2005] Para el dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico se deben considerar los siguientes aspectos:

- Potencia pico.
- Tecnología fotovoltaica.
- Acoplamiento eléctrico.
- Energía requerida por el usuario.
- Unidad de almacenamiento.
- Radiación solar.
- Orientación de los paneles.

Los parámetros anteriores se engloban en la arquitectura del arreglo fotovoltaico, que permite alcanzar las condiciones eléctricas adecuadas (voltaje y corriente). Los arreglos se pueden realizar de dos formas: por conexión de los paneles en serie o paralelo.

### **Conexión en serie**

La conexión en serie mantiene la misma corriente eléctrica para todos los paneles, mientras que el voltaje en la cadena es la suma de los voltajes de cada panel.

La conexión en serie puede presentar problemas si una de las celdas se sombrea, ya que la potencia de salida disminuye drásticamente. Otro problema causado por el sombreado es que los módulos se calientan y se forma un sumidero de energía, el módulo sombreado ahora se comporta como una resistencia. Para evitar estos conflictos se le coloca a cada módulo un diodo de paso que provoca que la corriente no pase a los paneles sombreados. [Goetzberger and Hoffmann, 2005]

### **Conexión en paralelo**

La conexión de los módulos en paralelo se utiliza para elevar la corriente ya que la corriente total es la suma parcial de las corrientes de cada módulo, mientras que el voltaje permanece igual. [Goetzberger and Hoffmann, 2005]

Los arreglos fotovoltaicos normalmente se realizan con la combinación de conexiones en serie y paralelo. Se hacen cadenas de paneles solares que cumplan con el voltaje nominal y esas cadenas se colocan en paralelo para la elevación de la corriente.

## Orientación de los módulos

Con el fin de obtener la máxima potencia de los módulos solares es indispensable orientarlos de tal forma que la radiación incidente en la superficie del panel sea perpendicular a esta. La orientación óptima de un panel se puede solucionar con sistemas de seguimiento de trayectoria solar o con una posición fija.

El acomodo de los paneles depende de la localización geográfica en donde se encuentren. En general si el sitio se encuentra en el hemisferio norte los módulos deben orientarse hacia el sur y el hemisferio sur deben orientarse hacia el norte. La inclinación de los módulos depende de la latitud geográfica del sitio, según [Goetzberger and Hoffmann, 2005] el ángulo de inclinación para la mayor captación de energía anual esta dado por la siguiente expresión matemática

$$\beta = \text{Latitud geográfica} \pm 10 \quad (5)$$

Los detalles de los cálculos para el dimensionamiento solar se presentan en el capítulo dedicado al dimensionamiento del dispositivo.

## Diseño industrial

Existen diversas definiciones de los que significa el diseño industrial. Según [ICSID, 2017], El diseño industrial es un proceso estratégico para la solución de problemas que impulsa la innovación, desarrolla el éxito comercial y conduce a una mejor calidad de vida a través de productos, sistemas, servicios y experiencias innovadores. Éste utiliza la creatividad para encontrar soluciones; vincula la innovación, la tecnología, la investigación, los negocios y los usuarios para generar un nuevo valor y una ventaja competitiva en los ámbitos económicos, sociales y ambientales.

El diseño industrial se basa en una metodología que permite soluciones objetivas e involucra las propiedades necesarias para la creación de un objeto y su fabricación en serie. Se considera como un mediador entre las necesidades de los usuarios y las necesidades de la industria.[Mateo Hernández, 2012]

[Gerardo, 2011]establece las principales características con las que debe cumplir el diseño industrial:

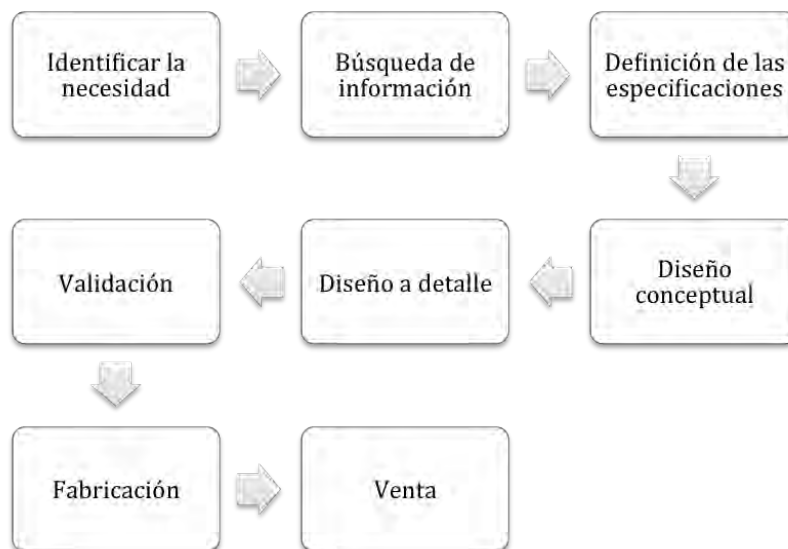
- Satisfacer las necesidades de la sociedad mediante productos desarrollados para la interacción con el usuario.
- Innovar en cuanto a la proyección ambiental.

- Incrementar el valor de uso de los productos (utilización por parte de los usuarios).
- Determinar las propiedades formales de los productos. (Estéticas, estructurales y funcionales).
- Crear instrumentos para el aumento de la productividad o fomento de nuevas industrias.
- Desarrollar y planificar los productos.
- Crear procedimientos para incrementar el volumen de producción.

## Proceso del diseño industrial

[Pahl and Beitz, 2013] propone un proceso para el diseño industrial, el cual se ejemplifica con el próximo diagrama.

Figura 9: Diagrama del proceso industrial para la generación de un producto



Cada fase del proceso de diseño industrial expuesto en el diagrama anterior se explica a continuación:

- Identificar una necesidad: se analizan las posibles necesidades que puede haber en la sociedad y se selecciona una.
- Búsqueda de información: se indaga sobre las posibles soluciones que pueden realizarse

- Definición de las especificaciones: se detallan las especificaciones del producto, se analiza la forma de uso y su funcionalidad. Con esta información se obtiene el perfil del producto.
- Diseño conceptual: se selecciona la alternativa más conveniente, consecutivamente se realiza el diseño a detalle en donde se valida la alternativa seleccionada a través de un prototipado y un análisis de usabilidad. Se encuentran los problemas esenciales y se genera una solución.
- Diseño a detalle: se definen todos los componentes del producto, debe tener en cuenta los factores que lo afectan. En general se relaciona con el diseño de los subsistemas y componentes que integran el conjunto. Cuando se alcanza la fase de diseño de detalle es necesario recurrir a todos los conocimientos sobre materiales, procesos productivos, técnicas de análisis, nuevas tecnologías en el sector, entorno del componente, estética, etc. En esta sección se obtienen los planos y los resultados de los análisis realizados.
- Validación: se materializa el producto, se construyen prototipos cuya finalidad es comprobar el funcionamiento, el prototipo debe aproximarse lo más posible al producto final y estar sujeto a las mismas condiciones de funcionamiento
- Fabricación: cuando el producto está terminado se define un método de manufactura. Los métodos de manufactura se pueden hacer a través de modelos conceptuales, modelos gráficos modelos físicos o modelos matemáticos.
- Venta: una vez obtenido el producto final se procede a comercializarlo para su venta.

## Divulgación de la ciencia

Hoy en día educación convencional no es suficiente para cubrir a toda la población y muchas veces se piensa que conocimiento científico está destinado a una sola élite. Por ello una buena alternativa para romper este paradigma es la divulgación científica.

Para llevar a cabo la divulgación científica tenemos que hacernos conscientes de los retos y riesgos que representa el conocimiento.

Uno de los problemas que presenta la difusión del conocimiento según [Rebolledo, 2007] es que las personas que conocen a fondo un tema científico, o bien no tienen interés por comunicar sus conocimientos a quienes no son sus colegas o, cuando lo tienen, carecen de la capacidad para comunicarlos con sencillez y precisión y las personas que cuentan

con esa habilidad muchas veces carecen de un conocimiento profundo de los temas que divulgan, lo que obliga en muchas ocasiones a tergiversar los conocimientos que dan a conocer.

A través de la divulgación científica es posible compartir el conocimiento tecnológico y científico a un público no especializado en el tema. Con ella se busca construir un conocimiento más universal, el cual sea fácil de entender para acercar a las personas a nueva información.

También la divulgación de la ciencia es educativa y creativa. Ayudan a que los conceptos difíciles de entender de la ciencia sean fáciles de digerir y retener.

Algunos métodos de divulgación científica son: programas de televisión, juegos interactivos, museos, artículos en revista, etc. Con ellos se motiva a la gente a querer saber más sobre un tema.

En general para que la divulgación científica sea efectiva se requiere de un lenguaje sencillo y ameno que fomente el interés sobre algún tema.

## **Divulgación de la ciencia en México**

En el 2015 se realizó un estudio sobre la percepción que tienen los mexicanos de la ciencia y tecnología, el cual aparece en el libro de “Ciencia y tecnología: una mirada ciudadana” [Franco et al., 2016].

El objetivo del libro es tener una percepción sobre lo que piensan y perciben los mexicanos acerca de la ciencia y la tecnología y no sobre lo que deberían conocer.

El estudio consistió en una encuesta nacional de 1,200 casos, aplicadas a personas de 15 años y más en sus propias viviendas. Las preguntas de la encuesta fueron efectuadas por investigadores especialistas de la Universidad Nacional Autónoma de México.

[Franco et al., 2016] argumenta que es indispensable incluir la ciencia y la tecnología en el desarrollo de la cultura nacional para avanzar hacia una sociedad del conocimiento. Con el fin de alcanzar un desarrollo sostenible se requiere que nuestra población tenga un nivel básico de cultura científica y tecnología.

Un de los aspectos evaluados en el estudio fue el interés que tienen los mexicanos en la ciencia y la tecnología. El 18 % de la población respondió que su interés era nulo y la principal justificación de esta respuesta fue porque no le entienden a los temas relacionados. Este resultado es preocupante, pues nos informa que la forma de transmitir los conocimientos no es eficiente.

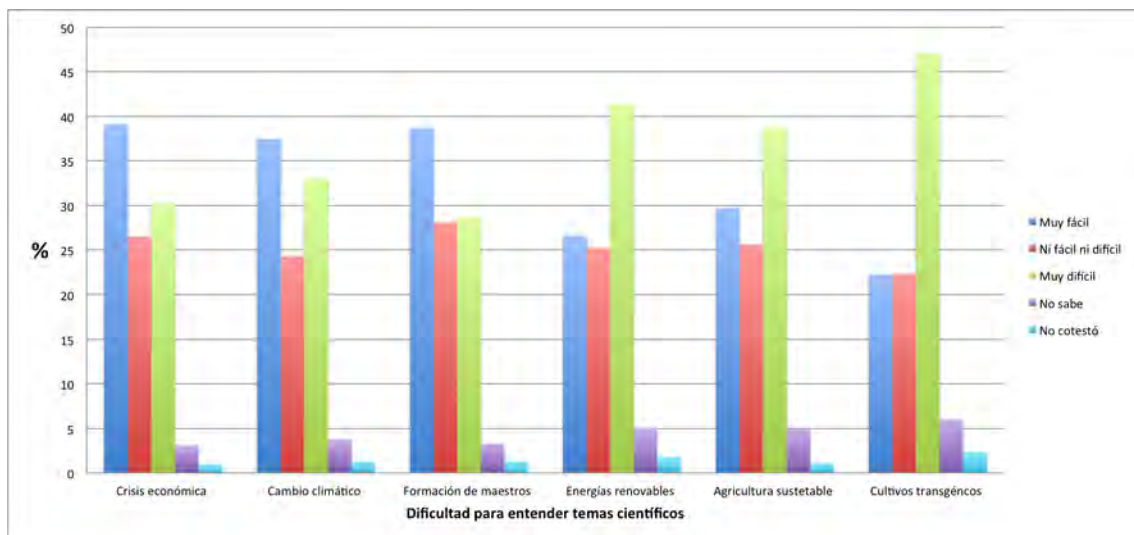
Otra de las cuestiones evaluadas fue la percepción individual sobre los conocimientos científicos de cada persona. Las respuestas se dividieron las dependiendo de la escolaridad.



dad del encuestado. Las personas sin ningún grado de estudios perciben tener 3.1 % de conocimientos científicos, las de la primaria 4.4 %, secundaria 5.1 %, preparatoria 6.3 % universidad o posgrado 6.5 % y el promedio nacional fue de 5.2 %. En esta sección se deduce que los mexicanos sabemos que nuestros conocimientos sobre la ciencia son limitados.

Para analizar específicamente a los mexicanos en el tema de energías renovables se presenta una gráfica 10 obtenida del libro de [Franco et al., 2016] que expone la dificultad que presentan los ciudadanos para entender temas particulares de la ciencia.

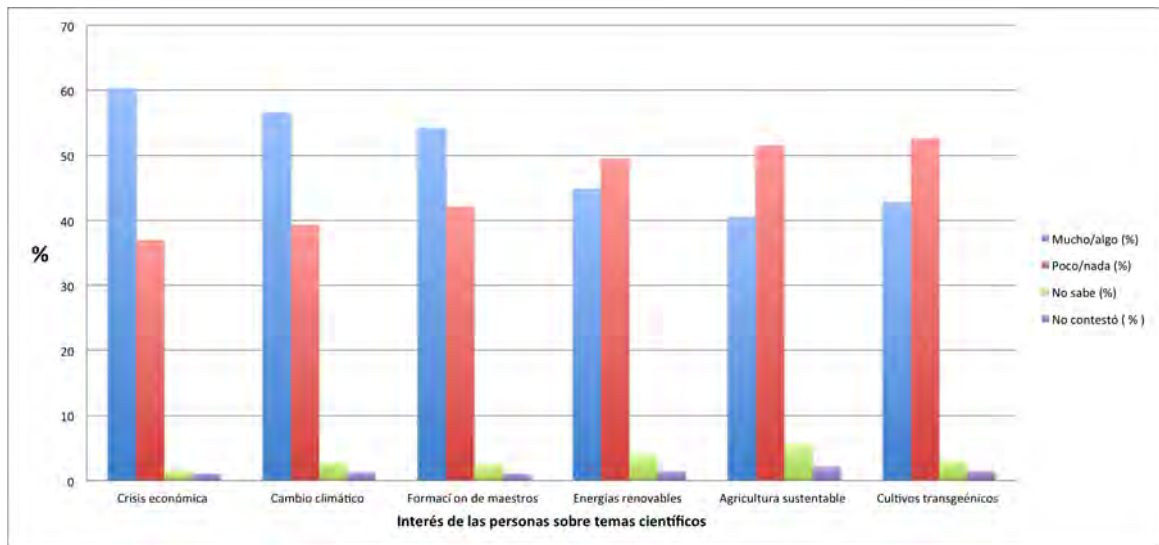
Figura 10: Respuestas a la pregunta "¿qué tan fácil o difícil es para usted entender lo que se dice sobre los siguientes temas?". (Encuesta nacional de ciencia y tecnología).[Franco et al., 2016]



De la información anterior se observa que es mayor el porcentaje de personas a las cuales se les dificulta entender lo que son las energías renovables que a las que le es muy fácil.

Los resultados también indican que los temas más polémicos, es decir los temas que se mencionan con más frecuencia en los medios de comunicación son más fáciles de entender. Con el fin de comprender un poco más por qué es tan fácil o difícil entender ciertos temas científicos se presenta la próxima gráfica 11 que muestra el interés de las personas por temas específicos relacionados con la ciencia.

Figura 11: Respuesta a la pregunta, Qué tanto interés tiene usted en...(Encuesta nacional de ciencia y tecnología). [Franco et al., 2016]



El interés por las energías renovables es bajo, solo el 44.9 % de las personas entrevistadas les llama la atención el tema.

Si se relacionan las dos tablas anteriores, parece haber una correlación entre los temas más difíciles con la falta de interés de las personas. Esta falta de interés es porque el tema es difícil o simplemente no hay una buena divulgación científica que atraiga a las personas. Lo que demuestra esta consulta ciudadana es que desarrollo de la ciencia y la tecnología es indispensable para generar una sociedad del conocimiento e innovación en México.

Se requieren de nuevos mecanismos de divulgación de la ciencia y de un sistema educativo sólido, que ayuden a la ciudadanía a generar un interés en el conocimiento científico, específicamente en las energías renovables.

Este proyecto se propone un nuevo método de aprendizaje sobre las energías renovables, busca que las personas participen en la generación de energía para sus dispositivos electrónicos y que la información sobre las energías renovables que les es difícil sea fácil de entender y retener.



# Dimensionamiento eólico y solar

En esta sección se presentan los cálculos realizados para el dimensionamiento eólico y solar con el fin de abastecer de energía la batería de respaldo. Se analiza el recurso eólico y solar basado en el funcionamiento del dispositivo y el recurso presente en Temixco Morelos.

## Energía eólica

### Recurso eólico

Como se menciona en el marco teórico el recurso eólico depende de las características del lugar en el que se encuentran los aerogeneradores, sin embargo con este dispositivo electrónico la velocidad del viento puede ser regulada por el usuario, es decir la velocidad depende de la fuerza aplicada para que el dispositivo gire.

Para calcular las velocidades que puede alcanzar el dispositivo se deben considerar los factores que la modifican, en este caso son:

- Longitud de la cuerda que sostiene el usuario y llega hasta el dispositivo.
- La fuerza con la que el usuario le da vueltas al dispositivo.
- El peso del dispositivo.

Considerando los factores que modifican la velocidad del dispositivo se realizó un experimento, donde se estima que el peso del producto final sea de 200 g, longitudes de cuerda de 1 metro hasta 3 metros con incrementos de medio metro, la duración de cada prueba fue de 20 segundos. En cada prueba el usuario giró el dispositivo por 20 segundos y se contó el número de vueltas. Dicha prueba se ejecutó 5 veces por cada longitud de cuerda.

La velocidad fue calculada a partir de la magnitud del perímetro del círculo que recorre el dispositivo al darle vueltas y tiempo en el que se recorre esta distancia. Para saber el tiempo transcurrido por cada vuelta se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Tiempo por vuelta} = \frac{\# \text{ de vueltas}}{\text{Tiempo total}} \quad (6)$$

Una vez calculado el tiempo por vuelta es importante saber la distancia de la trayectoria, la cual se obtiene con la fórmula del perímetro de un círculo. Como se muestra a continuación:

$$\text{Distancia de la trayectoria} = \pi \cdot 2l_c \quad (7)$$

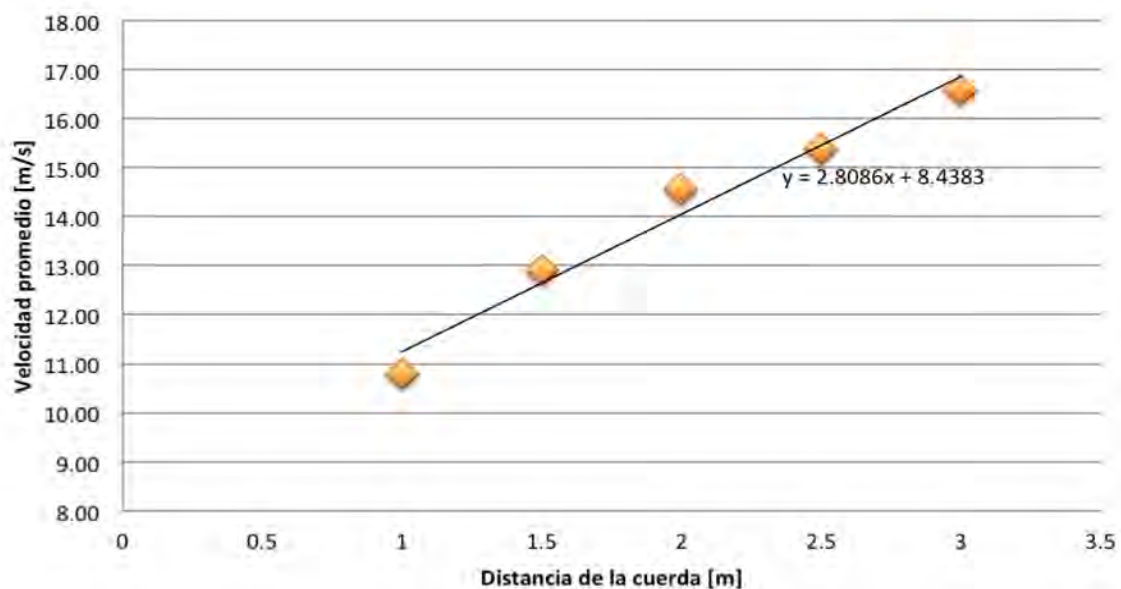
Donde  $l_c$  representa la longitud de la cuerda, que en este caso sería el radio de la circunferencia que el dispositivo recorre.

Con los valores obtenidos anteriormente se calculó la velocidad que puede alcanzar el dispositivo al darle vueltas y por lo tanto la velocidad del recurso eólico disponible. A continuación se presenta la fórmula de la velocidad.

$$\text{Velocidad del dispositivo} = \frac{\text{Distancia de la trayectoria}}{\text{Tiempo por vuelta}} \quad (8)$$

Posteriormente se realizó la siguiente gráfica presentada en la figura 12 que contiene las velocidades promedio alcanzadas en las diferentes pruebas con las diversas longitudes de cuerda.

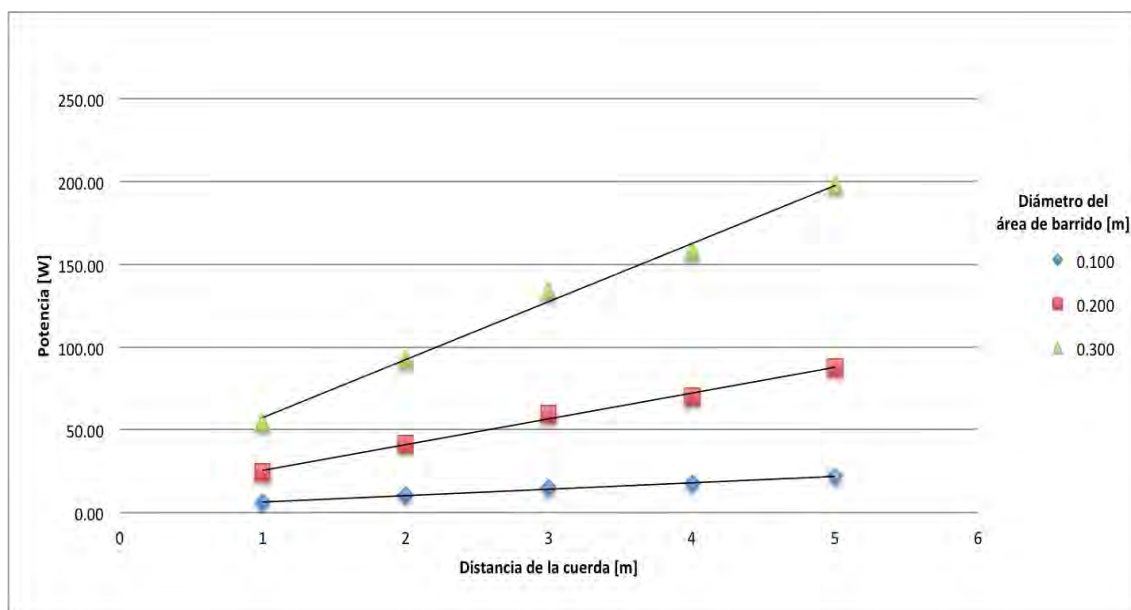
Figura 12: Velocidad del dispositivo: en esta gráfica se muestran las velocidades promedio alcanzadas al rotar el la masa contemplada para el dispositivo a diversas longitudes de cuerda



En la gráfica superior se obtuvo que la velocidad mínima alcanzada es de 10.81 m/s con un metro de longitud de cuerda y la mayor velocidad obtenida es de 16.59 m/s con 3 metros de longitud de cuerda. Las velocidades alcanzadas con respecto a la longitud de cuerda muestran un crecimiento lineal.

Ya que se conoce la velocidad se procede a calcular la potencia aerodinámica con el modelo matemático presentado en el marco teórico, con esta información se construye la próxima gráfica.

Figura 13: Potencia aerodinámica disponible para cada longitud de cuerda con áreas de barrido del rotor diferentes. La potencia mínima obtenida es de 6.07 W con una longitud de cuerda de 1 m y la máxima potencia es de 197.6 W con una longitud de cuerda de 3 m.



En la gráfica anterior se expone la potencia aerodinámica disponible para cada longitud de la cuerda. Cada color representa un diámetro distinto del área de barrido.

Se observa que la potencia aerodinámica incrementa cuando el área de barrido de las aspas es mayor, también aumenta cuando las velocidades del viento son altas, es decir cuando la longitud de la cuerda con la que se gira el aparato es más larga.

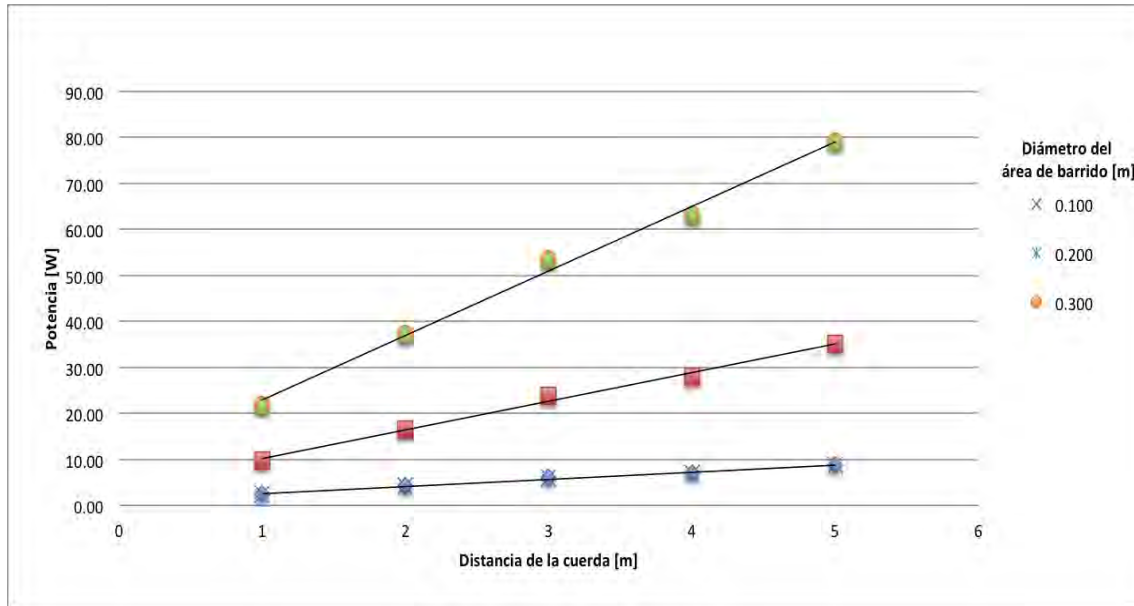
Después se calcula la potencia disponible considerando un coeficiente de potencia de 0.4 de acuerdo con [Hau and von Renouard, 2003], el cual se toma en cuenta debido a que las aspas utilizadas para la caracterización de generadores generalmente cuentan con dicha transferencia de momentum.

De acuerdo con la batería de respaldo que se considera para el almacenamiento de energía la potencia que se requiere es de 5 W, las especificaciones de la batería se presentan en el

capítulo de integración.

Con el fin de evaluar la potencia disponible con un coeficiente de potencia de 0.4, se realiza la gráfica 14 que presenta la variación de la potencia disponible cuando se modifica la longitud de cuerda y el área de barrido del rotor.

Figura 14: Potencia disponible con un  $C_p$  de 0.4, para cada longitud de cuerda con áreas de barrido del rotor diferentes. La potencia mínima obtenida es de 2.43 W con una longitud de cuerda de 1 m y la máxima potencia es de 79.04 W con una longitud de cuerda de 3 m.



En la gráfica anterior se observa que con un diámetro de rotor de 20 cm y con un metro de distancia de la cuerda del dispositivo ya se puede obtener la potencia deseada, en este punto la potencia disponible es de 9.71 W, es superior a la deseada, lo cual es benéfico ya que esta potencia es la potencia mecánica y la potencia eléctrica tiende a reducirse. Para conocer el radio mínimo que debe tener el área de barrido se despeja el radio del rotor de la expresión matemática del coeficiente de potencia expuesta en el marco teórico.

$$r_{rotor} = \sqrt{\frac{P_{rotor}}{\frac{1}{2}\rho\pi U^3 C_p}} \quad (9)$$

Al sustituir la velocidad mínima obtenida, la potencia del rotor requerida, la densidad del aire y el coeficiente de potencia encontrado en la literatura se tiene como resultado lo siguiente:

$$r_{rotor} = \sqrt{\frac{6W}{\frac{1}{2} \cdot 1.225 \frac{kg}{m^3} \cdot (10.81 \frac{m}{s})^3 \cdot 0.4 \cdot \pi}} = 0.0785m \quad (10)$$

Por lo tanto el diámetro mínimo que debe tener el área de barrido es de 15.7 cm. En el capítulo de integración se da a conocer el generador óptimo para los requerimientos del dimensionamiento.

## Energía solar

### Recurso solar en Temixco Morelos

En este trabajo se dimensionan pequeños módulos fotovoltaicos conectados a una batería de respaldo a través de un regulador de carga para que ésta no se dañe. Para realizar el dimensionamiento fotovoltaico es necesario conocer la latitud y longitud del sitio donde se planea establecer el sistema fotovoltaico. En este caso se considera la localidad de Temixco Morelos, cuya información se muestra en el cuadro 7.

<b>Lugar</b>	Temixco
<b>Latitud</b>	18.85
<b>Longitud</b>	-99.23

Cuadro 1: Datos generales de Temixco

Los datos anteriores se utilizaron para obtener el recurso solar proporcionado por la *NASA Surface meteorology and Solar Energy-Location* [NASA, 2018].

El recurso solar promedio mensual sobre la superficie horizontal evaluado por 22 años que se tiene en Temixco según los datos de la NASA aparecen en la siguiente Tabla 2.

<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Anual</b>
5.15	6.05	6.88	6.94	6.56	5.98	6.25	5.88	5.35	5.32	5.22	4.86	5.87

Cuadro 2: Tabla de datos del recurso solar promedio mensual sobre la superficie horizontal en Temixco [kWh/m<sup>2</sup>/día]

La energía promedio diaria considerada es de 5 Wh, esta se obtuvo a partir de las características eléctricas de entrada de la batería de respaldo seleccionada.

Como el sistema fotovoltaico es autónomo es primordial la identificación del mes crítico,



el cual se evalúa identificando el valor máximo del cociente de las cargas eléctricas y el recurso solar.

$$\text{Mes crítico} = \left( \frac{EL}{R_s} \right)_{max} \quad (11)$$

donde  $EL$  son las cargas eléctricas y  $R_s$  el recurso solar.

En este caso el mes crítico fue diciembre, que cuenta con un recurso solar promedio diario de  $4.9 \text{ kWh}/m^2$ .

Con los valores obtenidos anteriormente se calculó la potencia pico.

$$P_p = \frac{EL}{R_s R_T \eta} \quad (12)$$




donde  $R_T$  es el rendimiento térmico de la celda y  $\eta$  representa las eficiencias de todos los componentes eléctricos.

El rendimiento térmico contemplado fue de 80 % y las eficiencias que se tomaron en cuenta fueron: cables con un 97 % y batería de 95 %. [Goetzberger and Hoffmann, 2005]

Sustituyendo

$$P_p = \frac{0.005 \text{ kWh}}{(4.9 \text{ kWh})(0.8)(0.92)} = 0.00126 \text{ kW} \quad (13)$$

A partir de la potencia pico se consideraron diversos paneles solares para encontrar el mejor arreglo fotovoltaico. Los paneles que se tomaron en cuenta son marca RADOX debido a que son fáciles de encontrar en el mercado. En la próxima tabla se presentan los paneles seleccionados con sus respectivas características.

Clave de la celda	870-249 	870-247 	870-253 
<b>Voltaje [V]</b>	6	3	5
<b>Corriente [mA]</b>	0.1	0.1	0.28
<b>Tamaño [cm]</b>	9.5 X 5.5	8 X 8	10 X 10
<b>Potencia máxima [W]</b>	0.6	0.3	1.4

Cuadro 3: Tabla de especificaciones de los paneles fotovoltaicos a evaluar

Después de calcular el número total de paneles necesarios para satisfacer la potencia pico con la siguiente fórmula.

$$\# \text{ de paneles fotovoltaicos} = \frac{P_p}{P_{max,PFV}} \quad (14)$$

donde  $P_{max,PFV}$  es la potencia máxima de cada panel.

A partir del número de paneles fotovoltaicos se tiene que definir la arquitectura de estos, es decir, cuántos en serie y cuántas cadenas en paralelo. Para calcular los paneles en serie se hace la siguiente operación.

$$\text{Paneles en serie} = \frac{V_{bat}}{V_{PFV}} \quad (15)$$

donde  $V_{bat}$  es el voltaje nominal del banco de baterías (la batería de respaldo) y  $V_{PFV}$  es el voltaje nominal de panel fotovoltaico.

Para el cálculo de las cadenas de paneles en paralelo se utilizó la siguiente fórmula.

$$\text{Paneles en paralelo} = \frac{\text{Total de paneles}}{\text{paneles en serie}} \quad (16)$$

A partir de las ecuaciones anteriores se obtuvo la siguiente tabla.

Panel	$P_{max}$ [W]	# paneles	Serie	Paralelo	$P_{pico}$ AFV [W]	$\Delta P$ [W]
<b>870-249</b>	0.6	2.1	1	2	1.2	0.060
<b>870-247</b>	0.3	4.2	4	2	2.4	-1.139
<b>870-253</b>	1.4	0.9	1	1	1.4	-0.139

Cuadro 4: Tabla de resultados para el arreglo fotovoltaico

En la tabla anterior se presentan los posibles arreglos fotovoltaicos con los diferentes paneles. Se observa que para abastecer de energía la batería, el arreglo fotovoltaico con paneles de tipo 870-249 requiere dos en paralelo y tiene una potencia pico de 1.2 W. El arreglo con los paneles 870-247 requiere de 4 paneles, dos series en paralelo de dos paneles cada cadena y tiene una potencia de 2.4 W. Y el arreglo con los paneles tipo 870-253 requiere únicamente de 1 panel.

El arreglo con los paneles 870-249 tiene una diferencia de potencial de 0.06 W es decir que le faltaría 0.06 W para completar la carga, el arreglo con los paneles de tipo 870-247 presenta una diferencia de potencia de -1.139 W, que la diferencia sea negativa quiere decir que sobran 1.139 W, por último la diferencia de potencia del arreglo con paneles 870-253 es de -0.139 W.

Todos los arreglos consiguen cargar la batería sin embargo se descarta el arreglo con paneles 870-247 por ser el que requiere una mayor cantidad de estos. También se excluye el arreglo con paneles 870-253 porque a pesar de solo requiere un panel las dimensiones de este son grandes y dificultaría la portabilidad del dispositivo. Finalmente el arreglo seleccionado es el que utiliza paneles 870-249, ya que presenta el menor diferencial de

potencia, alcanza a cubrir la potencia pico y las dimensiones del panel son adecuadas para incorporarlo al dispositivo y mantener la potabilidad de éste.

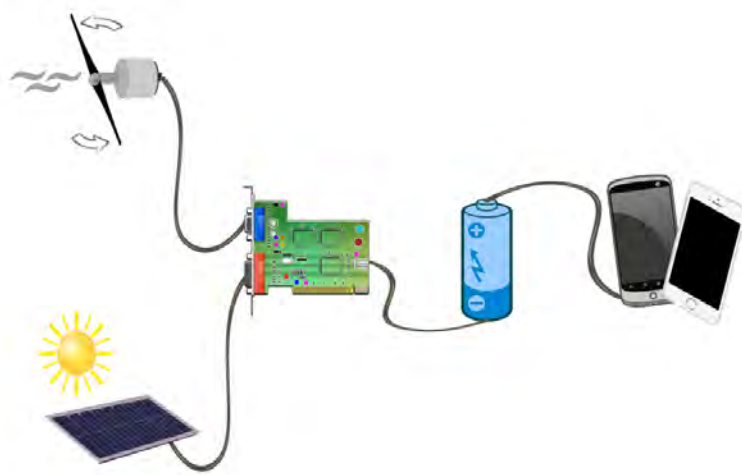
# Integración

En esta sección se presentan los componentes seleccionados para la integración de la energía solar y eólica dimensionada en el capítulo anterior a partir de un circuito electrónico.

## Componentes del dispositivo

Los componentes principales que conforman la parte eléctrica del dispositivo son: los paneles fotovoltaicos, el generador eólico, el circuito, la batería y la carcasa. En el diagrama 15 se ilustra a través de un esquema la integración de los componentes del dispositivo. Donde se identifica la unión entre el recurso solar y eólico a través de un circuito eléctrico, el cual se conecta directamente a una batería de respaldo con la que será posible cargar cualquier dispositivo electrónico.

Figura 15: Diagrama de los principales componentes del dispositivo. Se presenta la unión de la generación eólica con la solar a partir de un circuito que regula el voltaje y la corriente para cargar dispositivos electrónicos.



Tras definir los componentes, se procede a seleccionar las características eléctricas y dimensiones óptimas de cada uno.

## Selección de la batería

La definición que nos proporciona [Munoz-Rojas and Moya, 2016] sobre las baterías indica que son dispositivos eléctricos que almacenan energía a partir de reacciones redox (reducción-oxidación), donde se genera corriente por el intercambio de electrones y son capaces de transformar la energía potencial química en energía eléctrica.

La configuración interna de las baterías depende de la aplicación, pero en general los módulos consisten en arreglos con celdas electroquímicas conectadas en serie o paralelo dependiendo del voltaje de operación requerido.[Munoz-Rojas and Moya, 2016] .

Según [Méndez and Cuervo, 2007] las características que definen el comportamiento de las baterías son:

- Capacidad de descarga en amperios hora (Ah): es la cantidad de electricidad que se puede obtener de una descarga cuando la batería se encuentra totalmente cargada.
- Profundidad de la descarga: es el porcentaje de la capacidad total que se usa a lo largo de un ciclo (carga-descarga).
- Vida útil en ciclos: es el número de veces que se puede cargar y descargar la batería.

En este proyecto la batería que se utiliza es de ión-Litio con una configuración cilíndrica. Existen varios tipos de baterías de ión-litio en el mercado, la diferencia entre ellas es la capacidad de almacenamiento, la geometría y el peso.

La batería seleccionada fue *Batería de respaldo de 1800 mAh Steren* por ser la más pequeña en cuanto a peso (59 g) y tener una geometría sencilla.

Las características eléctricas de dicha batería son:

- Capacidad: 1,800 mAh
- Alimentación: 5 Vcc y 1 A
- Salida: 5 Vcc 1 A

Otro dato importante a considerar es el tiempo de carga, según la hoja de especificaciones es de 3 horas.

Debido a que esta batería de respaldo ya está diseñada para cargar dispositivos electrónicos la integración al circuito eléctrico es sencilla.

Cuando la batería se incorpore al circuito eléctrico se debe tener en cuenta que para alimentarla es necesario alcanzar el voltaje nominal y que éste no se exceda. También debe considerarse que mientras más grande sea la corriente eléctrica la velocidad de carga será mayor .

Las características eléctricas nominales de entrada no deben ser superados o la batería podría dañarse.

El controlador de carga que incluye la batería de respaldo puede ser útil y simplificar el circuito eléctrico, más adelante se analiza si se adapta o no a las características eléctricas de salida del recurso eólico y solar.

## Generadores eléctricos

En esta sección se muestran los análisis realizados para la caracterización de distintos motores utilizados como generadores, con el objetivo es encontrar el mejor generador que se adapte a los criterios establecidos previamente en el dimensionamiento y a las características eléctricas de enterada de la batería de respaldo seleccionada.

Los generadores eléctricos transforman la energía mecánica en energía eléctrica. Funcionan por inducción electromagnética, que consiste en la inducción de voltaje en un conductor a partir de la interrupción de un campo magnético con un conductor. [Harper, 2005].

El valor del voltaje depende de la intensidad del campo magnético, a mayor intensidad mayor voltaje inducido. El voltaje de los generadores eléctricos se calcula por cada fase como se muestra en la siguiente ecuación.

$$V_{max} = B_m l W r \quad (17)$$

donde  $V_{max}$  es el voltaje máximo por fase [volts],  $B_m$  es la densidad de flujo máximo producido por el campo del rotor [tesla],  $l$  es la longitud de la bobina en el campo magnético [m],  $W$  es la velocidad angular de rotor [rad/seg] y  $r$  es el radio de la armadura [m].

## Caracterización de generadores

Ya que se definió el funcionamiento de los generadores eléctricos se procede a evaluar distintos tipos de para seleccionar el mejor.

En este trabajo se utilizan diversos motores eléctricos como generadores debido a que los pequeños generadores eléctricos existentes en el mercado son dínamos y para poder generar energía eléctrica requieren de altas revoluciones por minuto, las cuales no pudieron ser alcanzadas con las velocidades de viento con las que se caracterizaron los generadores. Se caracterizan 20 motores diferentes; 3 micromotorreductores, 2 dínamos, 2 motores bipolares y 13 motores de corriente directa.

El método de caracterización consistió en evaluar los diversos generadores, colocando aspas con diferentes formas y tamaños, exponiéndolos a distintas velocidades de viento proporcionadas por 3 ventiladores.

Las velocidades de viento alcanzadas por los diversos ventiladores se exponen en la tabla 6

Ventilador	Velocidad [m/s]	Desviación Estándar
DURACRAFT	3.5	0.296
	4.9	0.332
COOLAIR SYSTEM T6 PHILIPS	5.8	0.295
	6.4	0.358
BRISA, WI-03	6.9	0.322
	7.7	0.357

Cuadro 5: Velocidades de viento utilizadas para la caracterización de los generadores.

Para definir la velocidad de viento de cada ventilador mostrado en la tabla 6 se realizan 10 mediciones por velocidad y posteriormente se calcula el promedio.

Las aspas utilizadas para la caracterización se exponen a continuación.

Figura 16: Tabla de las aspas utilizadas para la caracterización de los generadores.

Aspa	Descripción	Diámetro de barrido (cm)
<p>1</p> 	Bipala, es de silicon, se suelen utilizar para pequeños ventiladores con conexión usb.	9
<p>2</p> 	Bipala, fue hecha de un tubo de PVC DE 2"	26
<p>3</p> 	Tripala, se utiliza en ventiladores industriales, son de nylon	11.5
<p>4</p> 	Bipala, se usan en drones, son de plástico	25.5
<p>5</p> 	Tripala, diseñadas en SolidWorks e impresas en PLA	20.9
<p>6</p> 	5 palas, aspas de ventilación, de MINALUN DE MEXICO	20.32
<p>7</p> 	5 palas, aspas de ventilación, modelo: 465719 A	11
<p>8</p> 	4 palas, aspas de ventilación.	11
<p>9</p> 	4 palas, aspas de ventilación, modelo: ADVANCED AIR 2225834	17

La selección de las aspas presentada en la tabla 16 se hizo con base en los parámetros del dimensionamiento eólico realizado anteriormente y con la oferta de aspas existentes en el mercado.



Para la caracterización de los generadores se armó un pequeño banco de pruebas, donde cada generador se coloca en un tripié a 10 cm de distancia del ventilador.

Después se miden las características eléctricas a circuito abierto.

En la próxima imagen se muestra un ejemplo del procedimiento mencionado.

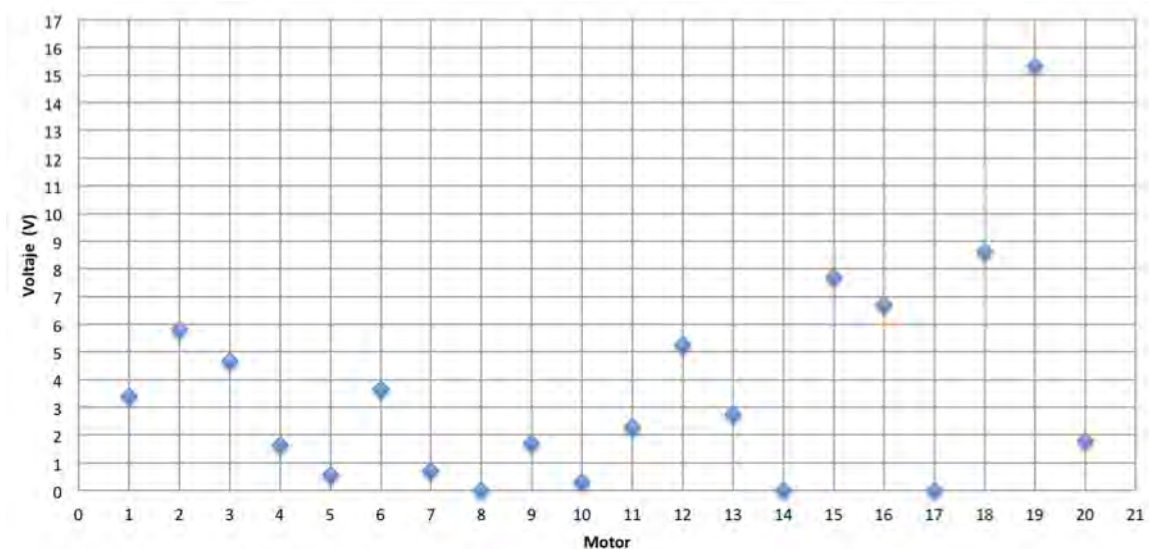
Figura 17: Banco de pruebas para la caracterización eólica.



El valor medido en esta primer prueba fue el voltaje, ya que para cargar la batería de respaldo sin dañarla se requiere un voltaje constante de 5 V.

Con los valores de voltaje obtenidos se realiza la siguiente gráfica, donde se presentan los voltajes máximos proporcionados por cada generador.

Figura 18: Voltaje máximo de los generadores evaluados. El voltaje máximo alcanzado es de 15.32 V con el generador 19, los generadores; 8, 14 y 17 no producen voltaje.



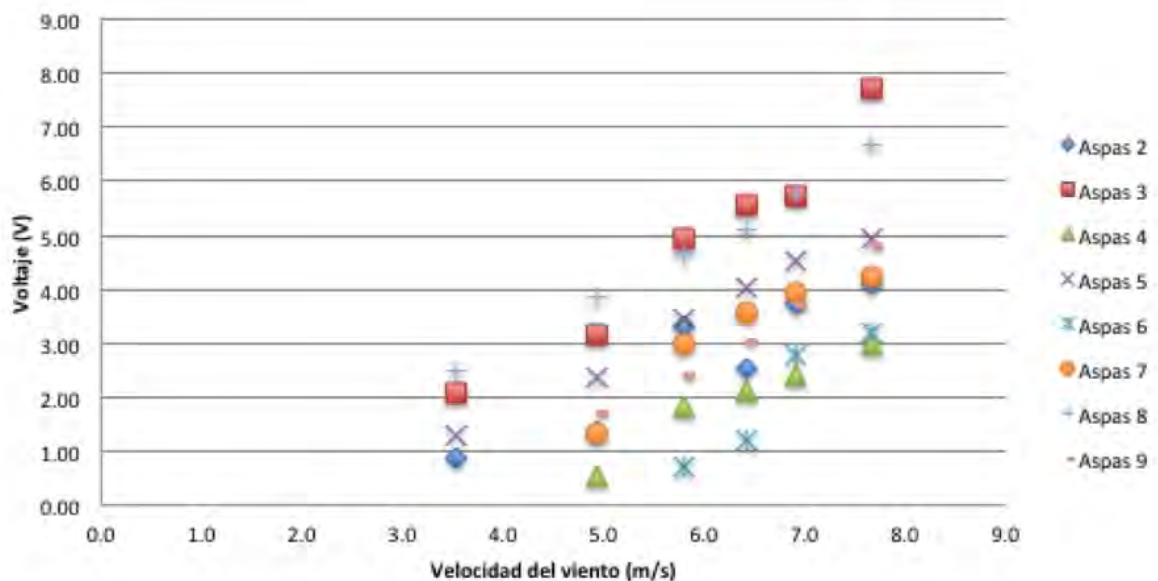
En la gráfica 18 se observa que 6 generadores alcanzan el voltaje requerido. Como las mediciones se hicieron a circuito abierto, hay que considerar que el voltaje tendrá una reducción al conectar las cargas eléctricas. Por esta razón se seleccionaron los 3 generadores con voltajes máximos más altos, en este caso son los generadores: 15, 18 y 19.

Posteriormente se caracterizaron los generadores a las diferentes velocidades de viento con las diversas aspas. De los resultados obtenidos se realizan gráficas de voltaje y potencia con el fin de identificar el mejor generador para el arreglo eólico, éstas se muestran a continuación.

### Generador 15

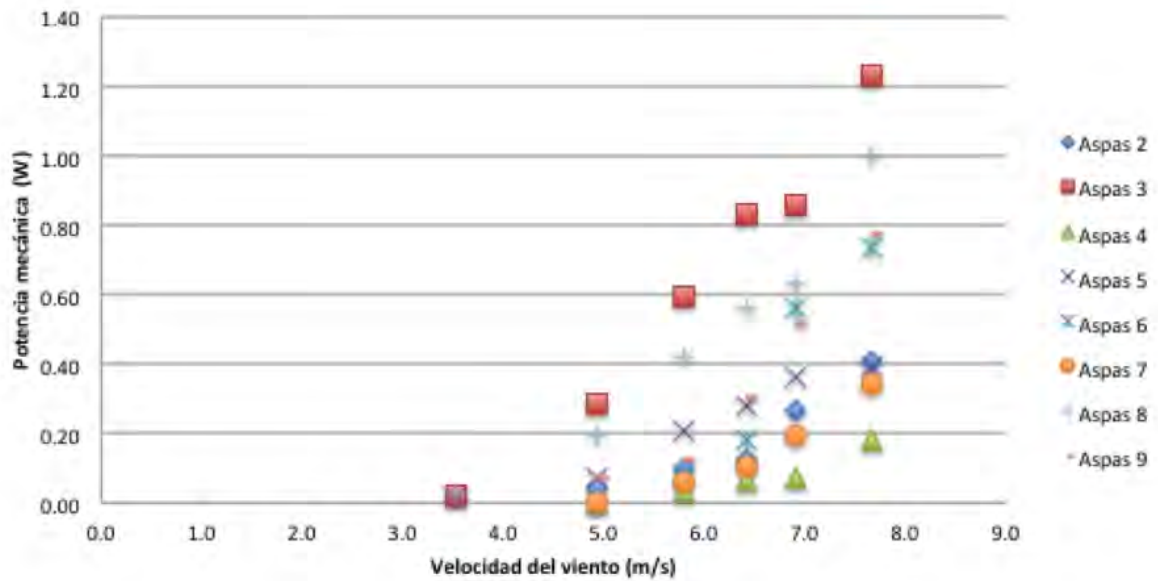
El generador 15 es un motor de corriente directa, marca “ORION”, modelo JMA2B02 50125-A. Los voltajes obtenidos con las diversas aspas se observan a en la gráfica 19 .

Figura 19: Voltajes obtenidos a las diferentes velocidades de viento del generador 15. El voltaje máximo obtenido es de 7.71 V y el mínimo de 0.55 V.



Como se muestra gráfica superior el generador 15 solo se alcanza el voltaje óptimo para cargar la batería por medio de las aspas 3 y 8. Con las aspas número 3 se consigue el voltaje requerido a 5.8 m/s y voltaje máximo alcanzado a una velocidad de 7.7 m/s es de 7.1 V. Con las aspas número 8 se consigue el voltaje requerido a 6.4 m/s y voltaje máximo alcanzado a una velocidad de 7.7 m/s es de 6.4 V. En seguida se muestra la gráfica de potencia contra velocidad del viento 20.

Figura 20: Potencias obtenidas a las diferentes velocidades de viento del generador 15. La potencia máxima obtenida es de 1.23 W y la mínima de 0 W.

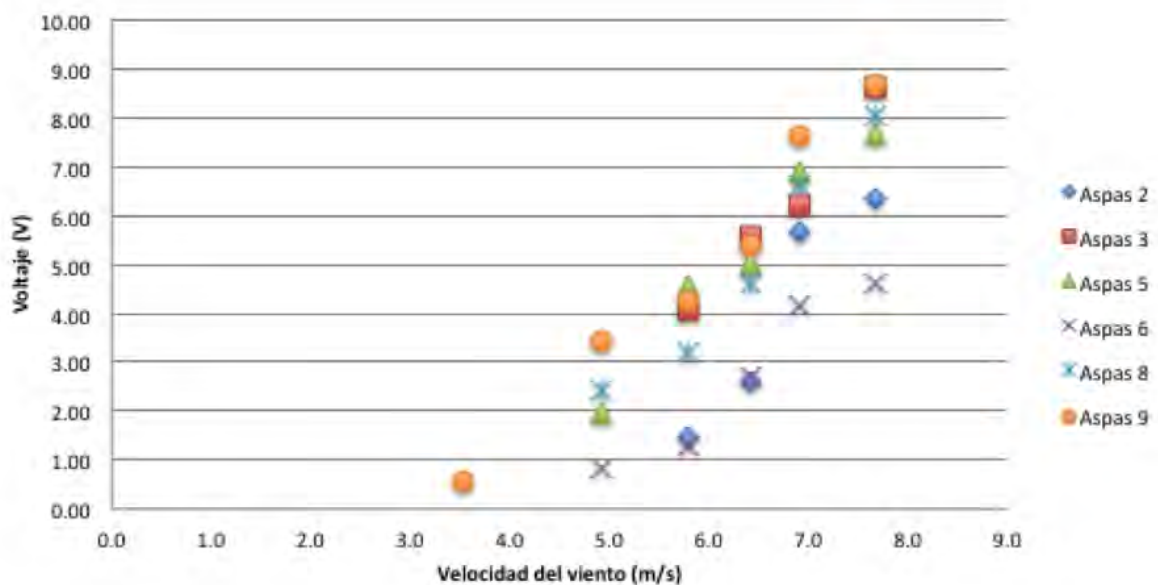


Se observa que la potencia más alta obtenida sigue siendo por la combinación del generador 15 con las aspas 3 y 8. Sin embargo no se logra alcanzar los 5 W de potencia que requiere la batería de respaldo para cargarse óptimamente. Las potencias máximas alcanzadas a 7.7 m/s son: 2.23 W con las aspas número 3 y 1 W con las aspas número 8. Las combinación con las aspas número 3 es la mejor, a pesar de no alcanzar la potencia nominal de la batería aún es posible cargarla debido a que se alcanza el voltaje nominal, pero el periodo de carga será más lento porque la corriente generada no es la óptima.

### generador 18

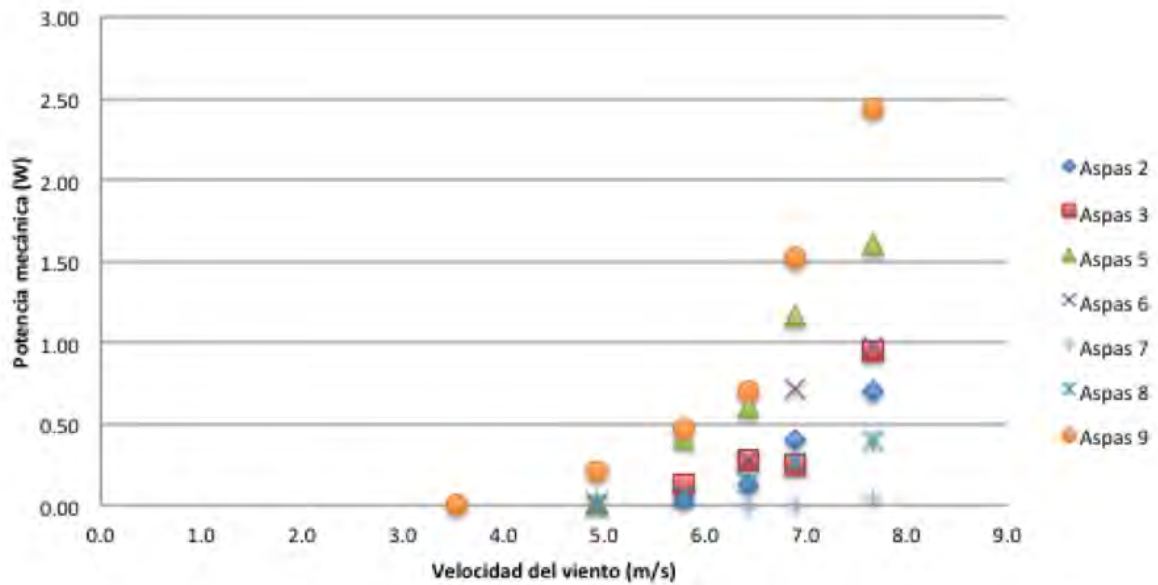
El generador 18 es un motor de corriente directa, marca “Jhonson”, modelo 1030283-3H205260. En la figura 21 se presentan los voltajes obtenidos con las diferentes aspas a diversas velocidades de viento.

Figura 21: Voltajes obtenidos a las diferentes velocidades de viento del generador 18. El voltaje máximo obtenido es de 8.69 V y el mínimo de 0.55 V.



De la gráfica superior 22 se obtiene que la combinación del generador 18 con las aspas 3, 5 y 9 llegan a los 5 V requeridos a 6.4 m/s. Los voltajes máximos alcanzados a 7.7 m/s fueron: con las aspas número 3 de 8.64 V, con las aspas número 5 de 7.66 V y con las aspas 9 de 8.69 V. Posteriormente se presenta la gráfica de potencia contra velocidad del viento que se obtuvo con el generador 18.

Figura 22: Potencias obtenidas a las diferentes velocidades de viento del generador 18. La potencia máxima obtenida es de 2.43 W y la mínima de 0.01 W.

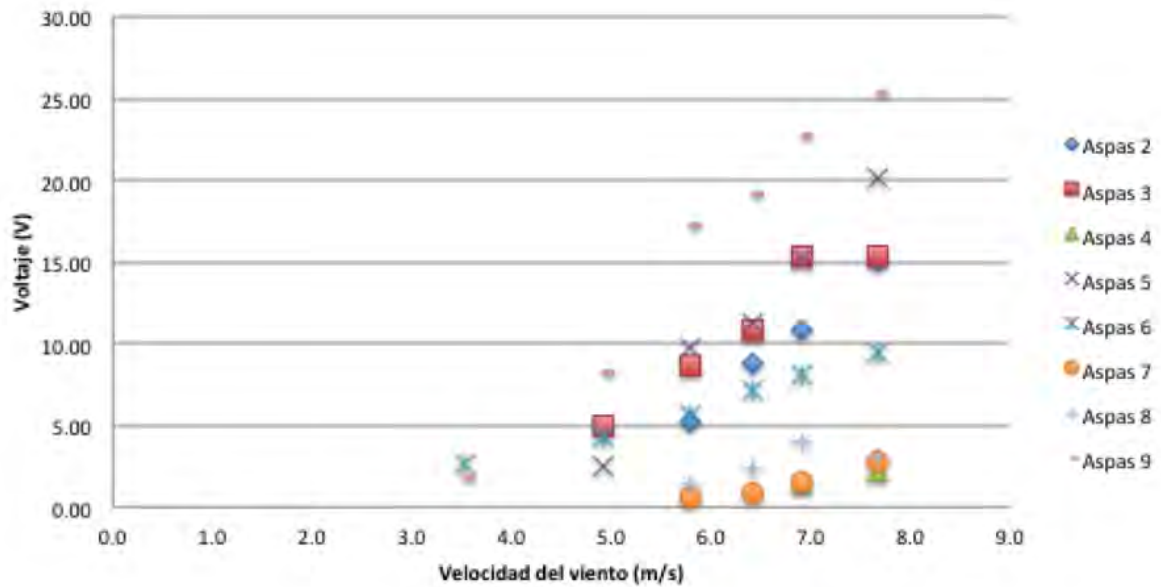


Analizando la gráfica anterior, potencia más alta obtenida sigue siendo por la combinación del generador 15 con las aspas 3, 5 y 9. Nuevamente no se logra alcanzar los 5 W de potencia que requiere la batería de respaldo para cargarse de forma óptima. Las potencias máximas alcanzadas a 7.7 m/s son: 2.43 W con las aspas número 3, 1.61 W con las aspas número 5 y 0.97 W con las aspas número 9. La mejor combinación de aspas con el generador 18 fue con las aspas número 3. La potencia máxima obtenida fue es mayor que la del generador 15. Debido a que la corriente generada por el generador 18 es superior.

## generador 19

El generador 19 es un motor bipolar, marca “MINEBEA”, modelo 17pu-H007-G2ST. En la próxima figura 23 se observan los voltajes obtenidos con las diversas aspas contra la velocidad de viento.

Figura 23: Voltajes obtenidos a las diferentes velocidades de viento del generador 19. El voltaje máximo obtenido es de 25.4 V y el mínimo de 0.54 V.



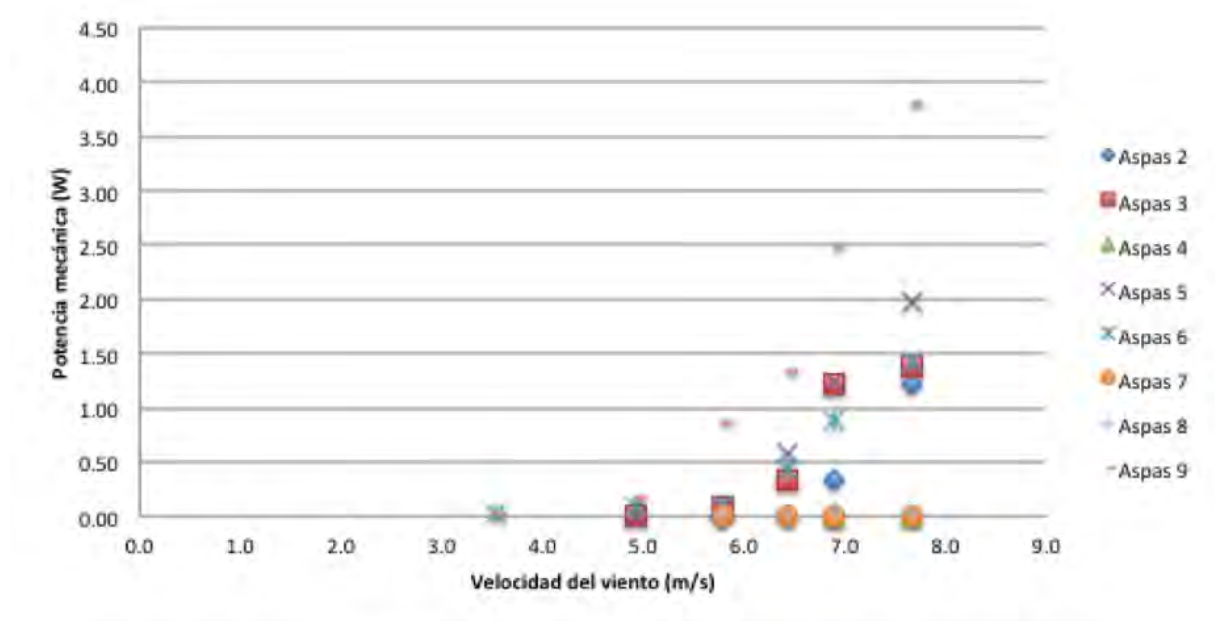
Como se destaca en la gráfica 23 a menores velocidades de viento se alcanza el voltaje nominal requerido comparado con el generador anterior.

Las combinaciones de aspas con el generador 19 que logran proporcionar el voltaje nominal con menor velocidad de viento son con las aspas 3 y 9.

Con las aspas número 3 se consigue un voltaje de 5 V a 4.9 m/s y voltaje máximo alcanzado a una velocidad de 7.7 m/s es de 15.32 V.

Con las aspas número 9 se consigue un voltaje de 8.23 V a 4.9 m/s y voltaje máximo alcanzado a una velocidad de 7.7 m/s es de 25.4 V. Las aspas número 5 también presentan un voltaje alto de 20.12 V, sin embargo no se considera debido a que la velocidad en la que alcanza el voltaje nominal es mayor que las obtenidas con las aspas 3 y 9. Los voltajes que proporciona el generador 19 son mayores a los de los generadores anteriores. Debajo se expone la gráfica de potencia contra velocidad del viento del generador 19 .

Figura 24: Potencias obtenidas a las diferentes velocidades de viento del generador 19. La potencia máxima obtenida es de 3.81 W y la mínima de 0.018 W.



Como se presenta en la gráfica de la figura 24, las potencias más altas se obtuvieron con las aspas 3, 5 y 9. A 7.7 m/s con las aspas 3 se generan 1.42 W, con las aspas 5 se generan 1.9 W y con las aspas 9 se generan 3.81 W. La mejor combinación de aspas con el generador 19 fue con las aspas número 9. Dicha combinación fue la mejor de todas. A pesar de no alcanzar la potencia nominal de la batería, se alcanza la mayor potencia presentada con respecto a los demás generadores. Finalmente se selecciona el generador 19 con las aspas 9 por generar el mayor voltaje y potencia a menores velocidades de viento. Evaluando la curva de potencia del generador 19 con las aspas 9, se observa que la velocidad de arranque es a 3.5 m/s, a esta velocidad se generaran 0.018 W, la velocidad nominal y la de corte no se pueden identificar debido a que se requieren datos a velocidades de viento más altas y en este proyecto la velocidad más alta de viento con la que se cuenta es de 7.7 m/s. Se procede concluir con la caracterización del generador 19, midiendo las revoluciones por minuto con un tacómetro a las distintas velocidades.

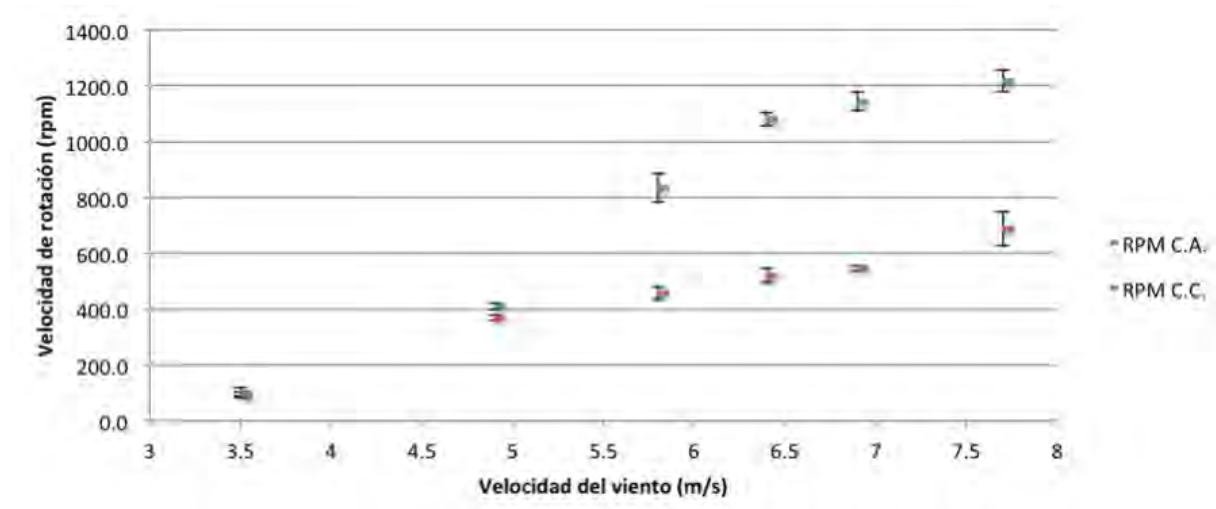
### Velocidad de rotación

A continuación se incorpora una gráfica de las revoluciones por minuto obtenidas a las diferentes velocidades a circuito abierto y cerrado. La medición de las revoluciones por



minuto se obtuvo con un el tacómetro laser “Boost, CE8301”. Los datos expresados en las próximas gráficas se tomaron 10 veces y posteriormente se calculó el promedio.

Figura 25: Velocidad de rotación a circuito abierto y cerrado. La velocidad de rotación a circuito abierto máxima es de 1217.8 rpm y a circuito cerrado de 687.6 rpm. Mientras que la velocidad de rotación a circuito abierto mínima es de 100.4 rpm y a circuito cerrado de 94.1 rpm

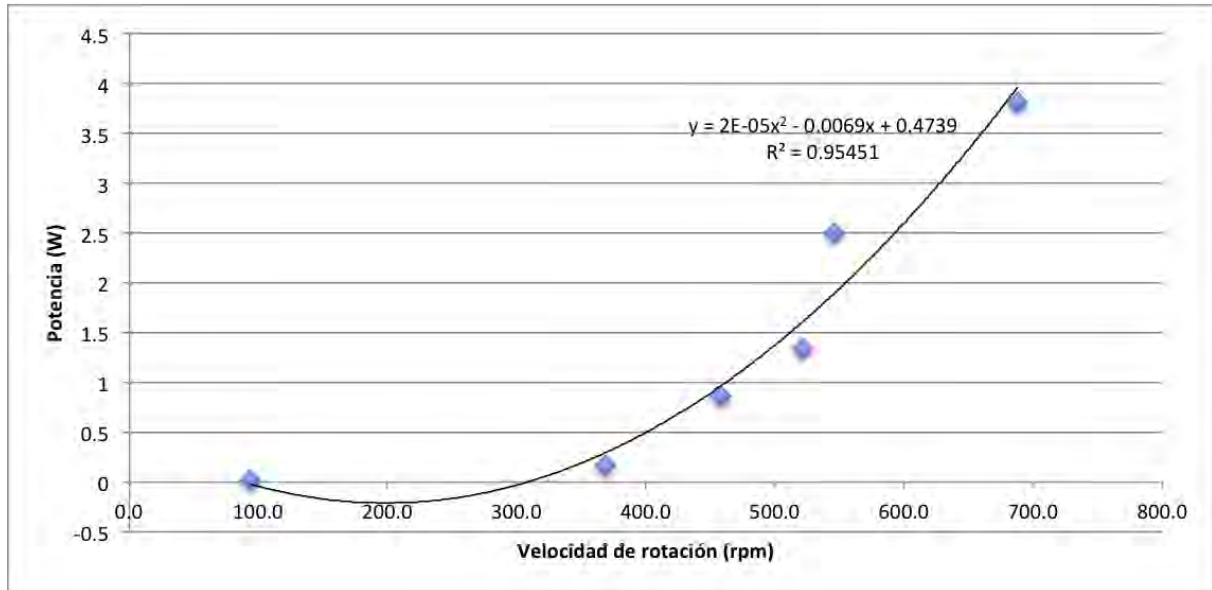


En la gráfica superior es notorio que las revoluciones por minuto a circuito abierto y cerrado muestran la misma tendencia, pero las revoluciones por minuto a circuito cerrado se reducen. Se debe a que aumenta el torque cuando se conecta el circuito, es decir la potencia eléctrica es menor que la potencia mecánica. Las revoluciones por minuto mínimas para alcanzar los 5 V se presentan a 4.9 m/s, a circuito cerrado son de 368.9 y 409.7 a circuito abierto. Las máximas revoluciones por minuto se midieron a 7.7 m/s, a circuito cerrado son de 687.6 y a circuito abierto de 1,217.8. Se observa que la diferencia de las revoluciones por minuto a circuito abierto y cerrado es mayor a velocidades de viento más altas.

Continuando con el análisis de las revoluciones por minuto se realizó la próxima gráfica, la cual muestra la potencia eléctrica que se genera contra la velocidad de rotación.



Figura 26: Potencia del generador contra velocidad de rotación.

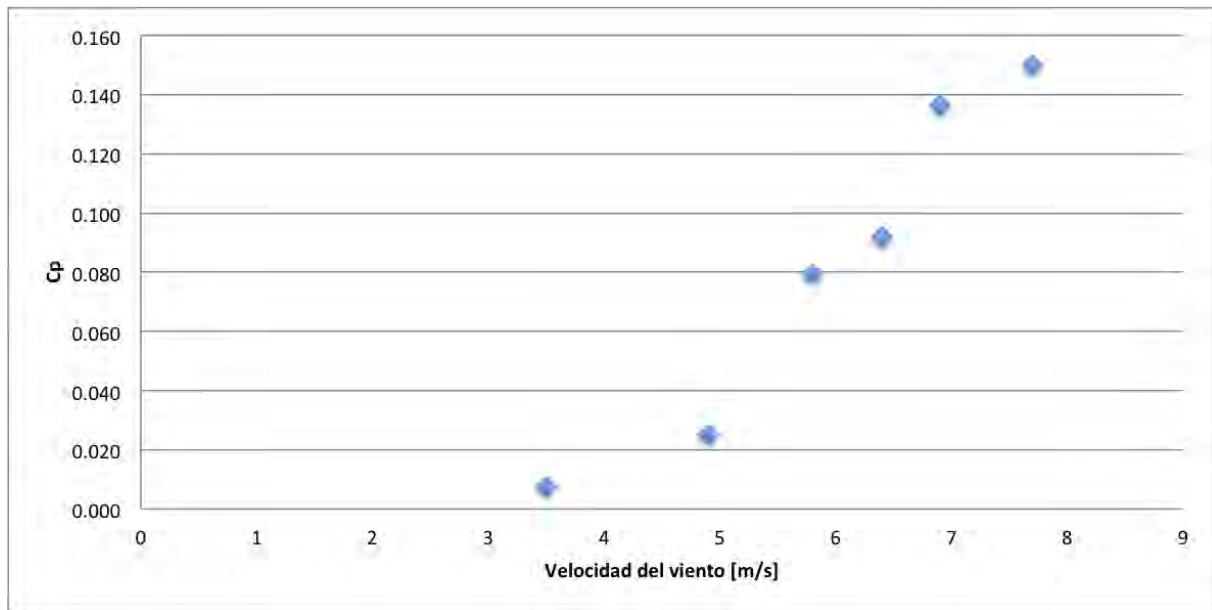


De los resultados anteriores se aprecia que la potencia aumenta con la velocidad de rotación. La velocidad de rotación más alta es de 687.6 rpm y se producen 3.81 W. Por el comportamiento de los valores de la gráfica 26 es probable que si se aumenta la velocidad de rotación la potencia también incremente.

### Coefficiente de potencia

En este apartado se calcula el coeficiente de potencia del arreglo eólico seleccionado para cada velocidad del viento obtenida por los diferentes ventiladores. Dichos valores se presentan en la gráfica 27.

Figura 27: Coeficiente de potencia del arreglo eólico a las diversas velocidades de viento. el  $C_p$  máximo alcanzado es de 0.15 y el mínimo de 0.008



De la información obtenida de la gráfica superior se tiene que el coeficiente de potencia es mayor a altas velocidades de viento. El valor máximo obtenido es de 0.15 a 7.7 m/s, mientras que el mínimo es de 0.008 a 3.5 m/s. Sin embargo para encontrar el máximo valor del coeficiente de potencia que se alcanza con el arreglo fotovoltaico es necesario caracterizarlo con velocidades de viento mayores. También se observa que los coeficientes de potencia son menores al considerado en la sección del dimensionamiento, por lo tanto la potencia que se puede obtener de la pequeña turbina eólica es menor que la calculada.

## Tiempo de carga de la batería

En esta sección se presenta un análisis del tiempo que tarda en cargar la batería de respaldo con el recurso eólico, el recurso solar y la red eléctrica.

La forma de medir el tiempo de carga para cada caso fue con el uso de un “Arduino UNO” y un adaptador de tarjeta SD para Arduino. Se registró el tiempo, el voltaje de la batería hasta que éste llegara al nominal.

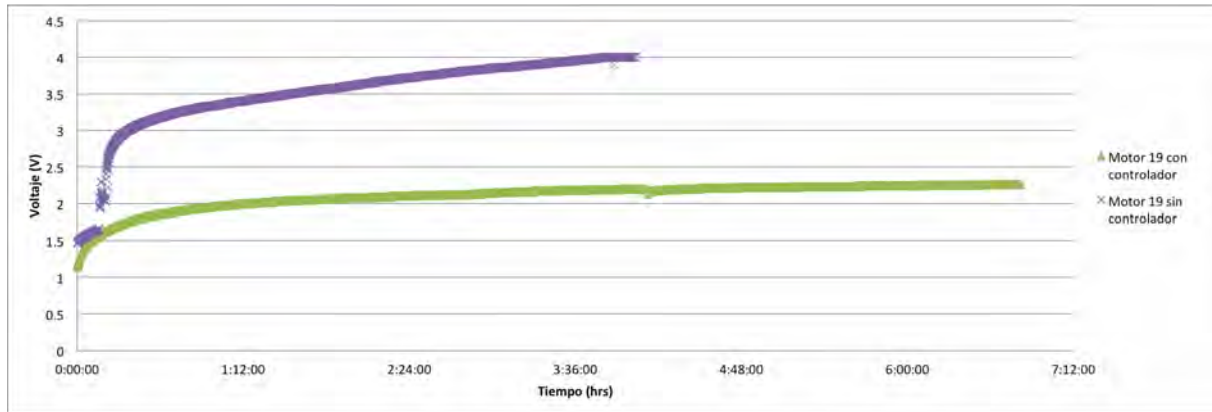
### Tiempo de carga de la batería con el recurso eólico

Debido a que el recurso eólico no alcanza la corriente nominal para cargar la batería, se realizó un análisis sobre el tiempo que tarda en suministrar toda la energía en la

batería con un controlador de carga diseñado para cargar baterías de ión-litio y sin el controlador.

En la próxima gráfica 28 se expone el tiempo que se tarda en cargar la batería con el recurso eólico usando el controlador y sin él.

Figura 28: tiempo de carga de la batería de respaldo con el generador 19 con y sin controlador.



Como se aprecia en la gráfica anterior la batería de respaldo se abastece con mayor rapidez sin el uso del controlador de carga que con él. Esto se debe a que el controlador de carga también consume energía y la energía producida por el recurso eólico es pequeña, por lo que el consumo de energía del controlador es significativo para el abastecimiento de la batería.

Por lo mencionado anteriormente se decide quitar el controlador de carga para el abastecimiento con el recurso eólico.

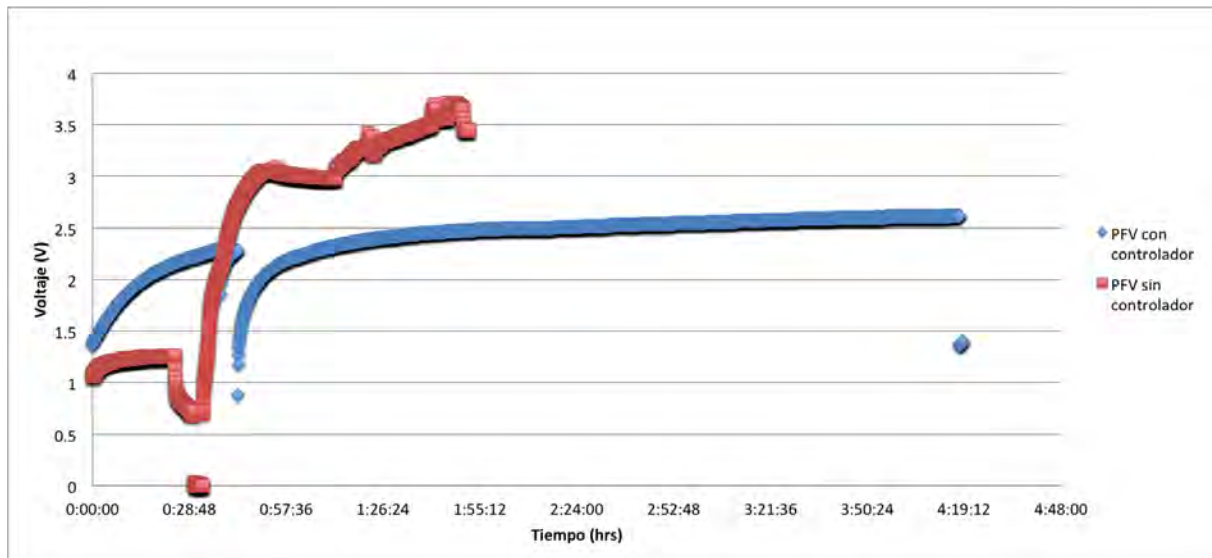
## Tiempo de carga de la batería con el recurso solar

Se presenta la misma situación para el abastecimiento de la batería con el recurso solar. Los paneles fotovoltaicos seleccionados en la sección de dimensionamiento alcanzan el voltaje nominal, pero la corriente es menor que la requerida.

Se realiza el mismo análisis que con el recurso eólico, se evalúa el periodo de carga de la batería con el recurso solar sin el uso del controlador de carga y con el uso de éste.

El experimento se llevó a cabo el 23 de febrero del 2018 y resultados de las mediciones se muestran en la gráfica de abajo.

Figura 29: tiempo de carga de la batería de respaldo con paneles fotovoltaicos con y sin controlador.



En la gráfica anterior es notorio que la batería no alcanza a abastecerse totalmente de energía con el uso del controlador de carga, mientras que sin éste la batería se logra cargar rápidamente.

De igual forma se decide abastecer de energía la batería de respaldo sin el controlador de carga.

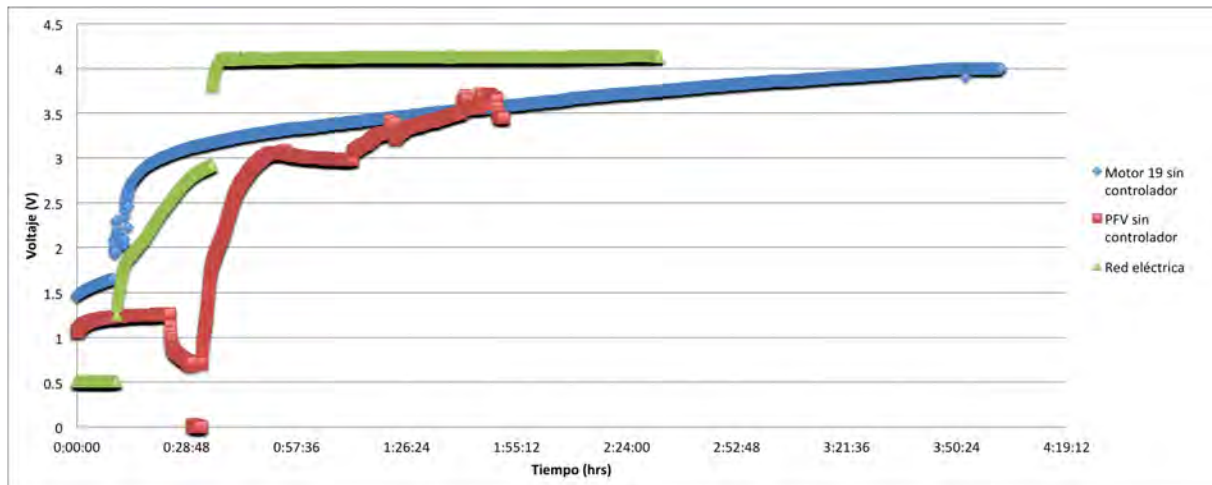
Las fluctuaciones que se muestran en la gráfica 29 se deben a las nubes que estuvieron presentes el día de la medición.

## Comparación del tiempo de carga de la batería con la red eléctrica y las fuentes de energía renovable

En la próxima gráfica se muestran los resultados de la comparación del tiempo de carga con el recurso solar y eólico contra la red eléctrica.

El abastecimiento de energía por medio de la red eléctrica es la ideal, ya que se utilizan los parámetros óptimos para la carga de la batería de ión-litio.

Figura 30: Tiempo de carga de la batería de respaldo con la red eléctrica, el recurso solar y el eólico.



Con la gráfica anterior se concluye que el límite de carga de la batería de respaldo es cuando del voltaje llega a 4 V.

Los datos obtenidos de la gráfica superior presentan la misma tendencia, sin embargo como era de esperarse la red eléctrica logra llenar de energía más rápido a la batería, seguida del recurso solar y finalmente el recurso eólico (7.7 m/s).

Los paneles fotovoltaicos suministran más rápido la energía porque la corriente que producen es mayor que la del acoplamiento eólico.

Uno de los factores por los que aparecen fluctuaciones en los datos obtenidos es debido a que el Arduino consume energía. Por ello se debe corregir la forma en la que se transfiere la energía con elementos electrónicos, los cuales se seleccionan en la sección del Circuito eléctrico.

## Circuito eléctrico

El circuito es el corazón del prototipo, este ayuda a resolver las necesidades eléctricas del aparato.

En vista de que la batería requiere 5 V y 1 A para para alimentarla energía, usa el arreglo eólico definido con anterioridad y los paneles fotovoltaicos establecidos en la sección del dimensionamiento.

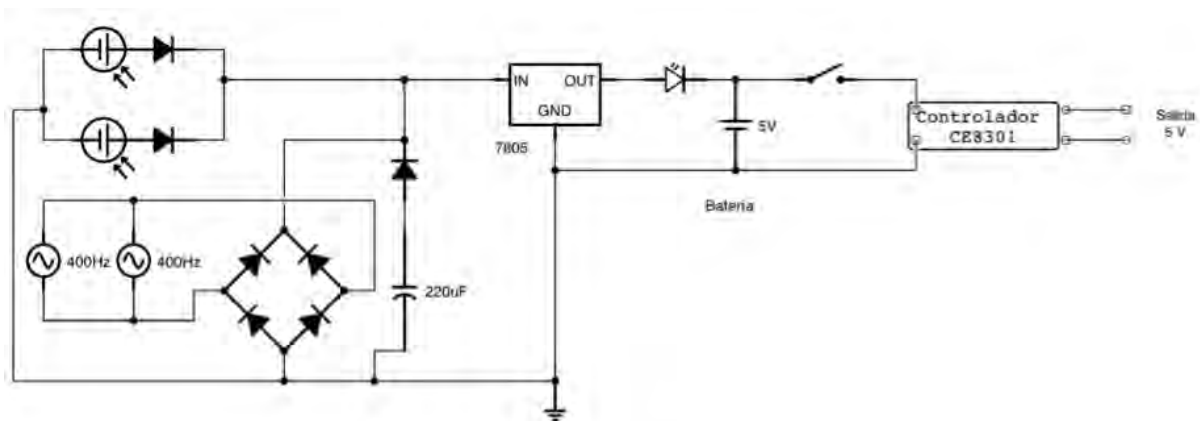
Los principales elementos que componen el circuito son :

- Generador eléctrico 19

- Diodos
- Batería de respaldo
- Paneles fotovoltaicos
- Controlador de carga a la salida (CE8301).
- Capacitor
- Rectificador de corriente
- Regulador 7805
- Interruptor
- LED

La interacción de los elementos anteriores se presenta en la figura 31, en la cual muestra un diagrama eléctrico realizado con el programa iCircuit.

Figura 31: Esquema del circuito eléctrico hecho en iCircuit



En la imagen anterior se observan los elementos del circuito incorporados.

En primera instancia se presentan los paneles fotovoltaicos conectados en paralelo para que el voltaje permanezca igual y la corriente se suma, cada uno es conectado a un diodo que se encarga de dirigir la corriente.

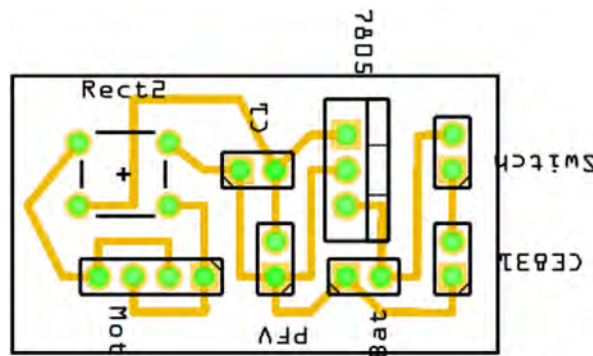
En paralelo con los paneles fotovoltaicos se encuentra el generador 19, es necesario recordar que éste es un motor bipolar, es decir cuenta con dos bobinas, estas se conectan en paralelo entre ellas para que las corrientes generadas por cada bobina se sumen. Posteriormente el generador se conecta a un rectificador de corriente AC-DC, que a su vez se une con un

capacitor de  $200 \mu\text{F}$  para atenuar los picos de corriente y a un diodo para dirigirla. Una vez resuelto la parte eléctrica del recurso eólico y solar se conecta un regulador 7805, cuya función es entregar  $5 \text{ V}$  a la batería de respaldo. Después se liga un LED para indicarle al usuario cuando la energía generada es suficiente para abastecer la batería. Por último un interruptor une la batería de respaldo con el controlador de salida. El controlador de salida esta diseñado para entregar el voltaje y corriente necesarios para abastecer de energía dispositivos electrónicos.

El circuito anterior se dibuja en el programa de Fritzing que sirve para la manufactura de circuitos eléctricos en placas fenólicas.

El acomodo de los elementos que integran el circuito para la manufactura de este se muestra en la próxima ilustración 32.

Figura 32: Circuito eléctrico diseñado en Fritzing para manufacturarlo en una placa fenólica



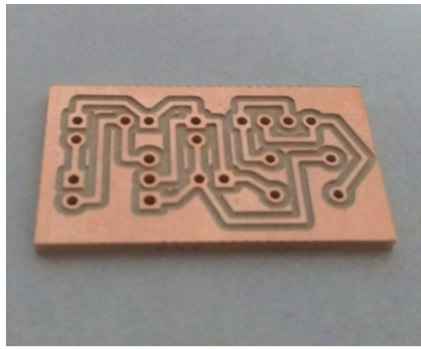
En el diagrama anterior se presentan las conexiones de los elementos, las líneas amarillas representan la continuidad entre los componentes.

Para el diseño del circuito eléctrico es importante aprovechar todo el espacio y hacer que el producto final sea lo más pequeño posible, ya que uno de los objetivos es que el dispositivo sea portátil.

Las medidas finales del circuito fueron de  $2 \text{ cm}$  de ancho por  $3 \text{ cm}$  de largo.

Posteriormente se manufactura el circuito diseñado en Fritzing con la máquina CNC en el laboratorio de Laboratorio de Tecnologías Abiertas del Instituto de Energías renovables. El resultado obtenido de la manufactura se muestra en la próxima imagen.

Figura 33: Fotografía del circuito manufacturado en una máquina CNC, en el Laboratorio de Tecnologías Abiertas del Instituto de Energías renovables.



Los elementos que unirá el circuito deben soldarse y finalmente ser incorporados a la estructura del dispositivo, este procedimiento se ejemplifica en el capítulo de análisis y resultados del producto final.

Por último es importante mencionar que potencia máxima obtenida con el recurso solar y eólico expresada anteriormente es de: 1.2 W con el recurso solar y 3.81 W con el eólico, sin embargo una vez conectados los arreglos al circuito la potencia máxima entregada a la batería disminuye, por la parte solar ahora es de 1 W y 0.5 W de potencia eólica. Esto se debe a que el regulador 7805 disminuye el voltaje a 5 V para no dañar la batería.





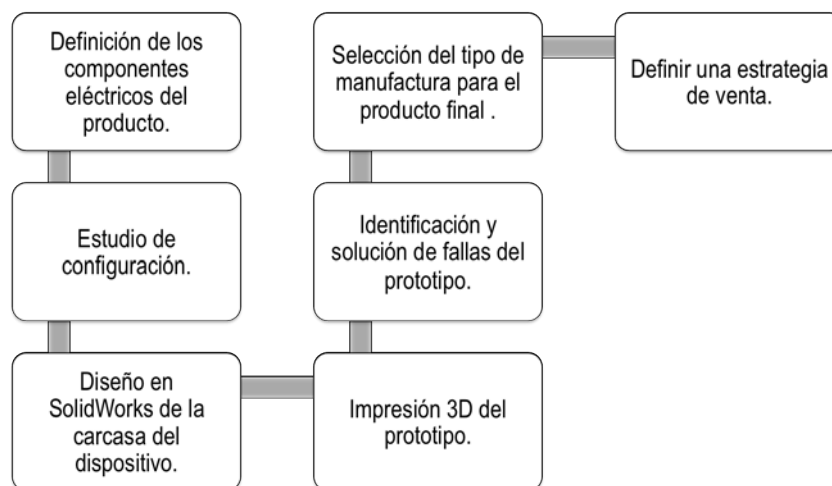
# Proceso de diseño

En este capítulo se expone el proceso del diseño industrial para el dispositivo electrónico. Se muestra el diseño y manufactura de los elementos que conforman la estructura; la carcasa que contiene los componentes eléctricos y el eje que une las aspas con el generador eléctrico. También se presentan las posibles formas de manufactura, el costo del dispositivo y un análisis del perfil del usuario.

## Proceso para la obtención del producto final

En general el proceso de diseño industrial de cualquier producto tiene un procedimiento básico como el que se presentó en el marco teórico, sin embargo cada producto posee diferentes pasos. El procedimiento para la creación del dispositivo electrónico se observa en el próximo diagrama.

Figura 34: Diagrama del proceso para la creación del dispositivo electrónico.



Como se presenta diagrama superior el primer paso es definir los componentes eléctricos óptimos del dispositivo, posteriormente se realiza un estudio de configuración que busca el mejor acomodo de los componentes, después se diseña la carcasa del dispositivo

respetando la configuración de los elementos seleccionada, una vez tenido el diseño se imprime el prototipo, se identifican las fallas que prototipo y se busca una solución a éstas, una vez afinado el prototipo final se selecciona la manufactura más conveniente y por último se define una estrategia de venta.

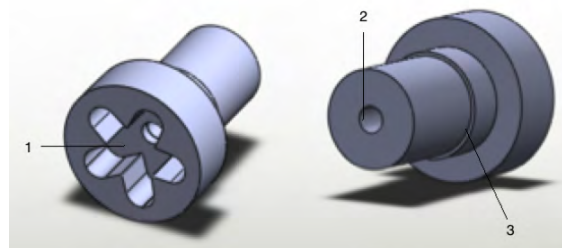
## Diseño y manufactura de los elementos estructurales

En esta sección se presenta el proceso del diseño y la manufactura de los elementos estructurales del dispositivo electrónico. Específicamente se expone la construcción del eje que une las aspas con el generador, el estudio de configuración para el diseño de la carcasa y el mecanismo para acceder a los paneles fotovoltaicos.

### Eje

La unión del generador eléctrico con las aspas se hace a través de un eje. Como el generador utilizado cuenta un engrane en su eje, se diseña una geometría en la que éste se pueda acoplar. Las aspas se incorporan al eje por medio de un tornillo. El diseño del eje se realiza con el programa de SolidWorks y se expone en la siguiente ilustración.

Figura 35: Diseño del eje en SolidWorks



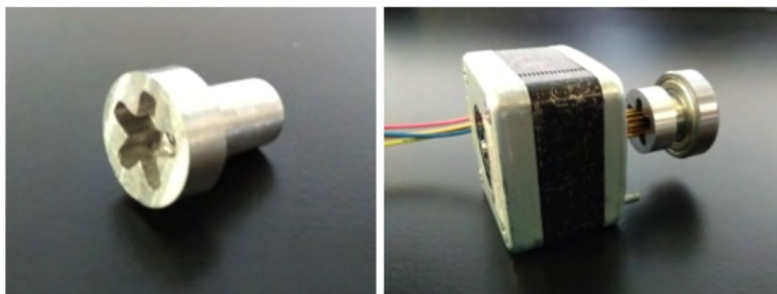
En la imagen superior el número 1 representa la zona en donde embona el eje del generador, el 2 es el agujero donde se introduce el tornillo de las aspas y el 3 es un tope para un balero que ayuda a la alienación del eje.

El material seleccionado para la manufactura del eje es el aluminio, por ser un metal resistente y ligero.

El hueco 1 y 2 se realizaron en el CNC como se muestra en la imagen 35, la parte exterior se manufacturó en un torno y finalmente se hizo la cuerda del tornillo del orificio 2 con un machuelo.

En la imagen 36 se expone el eje final y el eje acoplado al generador y al balero.

Figura 36: Eje manufacturado y conectado al generador



Al término de la manufactura del eje se prueba uniéndolo con los componentes para los que fue diseñado. Como se muestra en la figura superior el acoplamiento fue satisfactorio, todos los elementos embonan correctamente.

### Diseño y manufactura de la carcasa

Antes de diseñar la carcasa se analizó la posibilidad de tener los componentes eléctricos dentro o fuera de ésta. Para definir el mejor acomodo se realizó una tabla de comparación sobre las ventajas y desventajas de tener los componentes fuera y dentro de la carcasa.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El peso de los componentes puede ayudar a la estabilidad del avión.</li> <li>• Los componentes dentro de la carcasa ayudan a que el dispositivo sea portátil.</li> <li>• Se utiliza una cuerda para la manipulación del dispositivo en lugar de un cable que podría dañarse con el movimiento.</li> <li>• El mantenimiento del dispositivo es fácil.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No es posible cargar un dispositivo electrónico mientras se produce la energía.</li> <li>• Si el peso de los componentes es grande, la manipulación del dispositivo se complica.</li> <li>• Es necesario fijar los componentes con precisión para evitar que se desprendan por las vibraciones.</li> <li>• La geometría interna es compleja, lo que complica la manufactura.</li> </ul>

Cuadro 6: Ventajas y desventajas de tener los componentes fuera y dentro de la carcasa

La principal desventaja de tener los componentes dentro de la carcasa es que hay que cuidar que el peso final del producto sea bajo para que pueda ser manipulado fácilmente.

Otra desventaja es que la geometría interna es más compleja, sin embargo la impresión 3D permite crear figuras difíciles. La ventaja más importante de tener todos los componentes en un solo espacio, es que la portabilidad del objeto es mayor. Que el mantenimiento sea sencillo es una gran ventaja debido a que los componentes internos pueden ser intercambiables y con ello evitar que el dispositivo completo quede obsoleto. Por estas razones se decide colocar todos los componentes en la parte interna de la geometría.

## Estudio de configuración

El estudio de configuración se realiza para identificar el mejor acomodo de los elementos y poder diseñar la carcasa que los resguarda.

Lo que se busca para la selección de la mejor configuración es que se utilice el menor espacio posible y que los elementos estén equilibrados para que el centro de masa pueda coincidir con el centro de la geometría.

Los elementos utilizados para el estudio de configuración fueron:

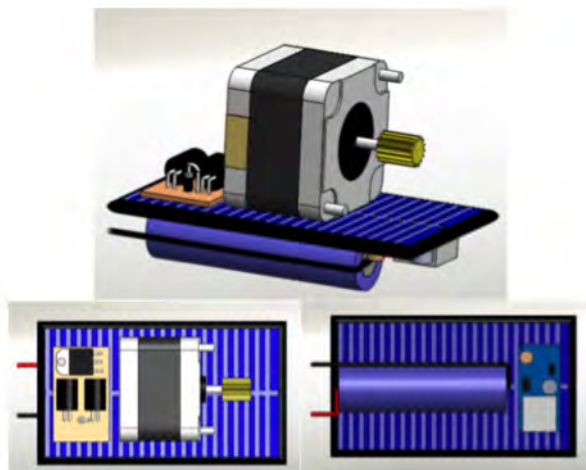
- Batería de respaldo
  
- Generador eléctrico
  
- Paneles fotovoltaicos
  
- Circuito de integración
  
- Controlador de carga

Próximamente se describen diferentes casos para las diversas configuraciones.

### Caso 1

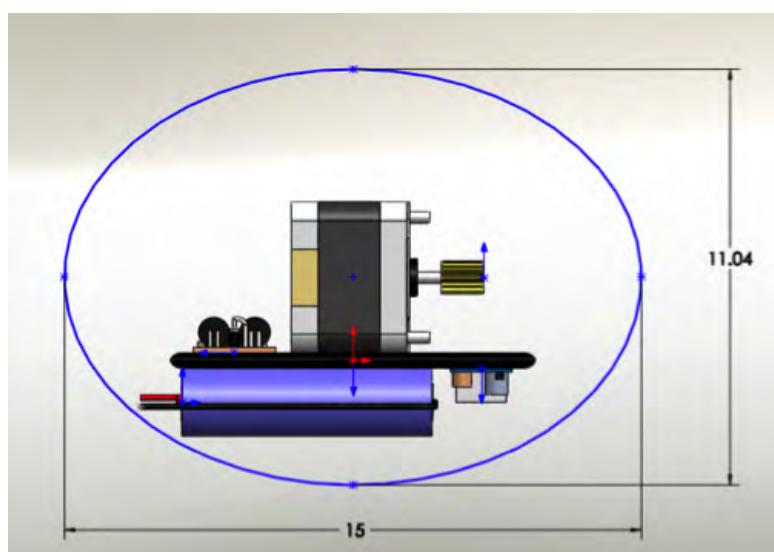
En el caso uno se acomodan los componentes uno sobre otro, se empalman en el mismo eje de geometría. Dicho acomodo se ilustra en la imagen siguiente.

Figura 37: Estudio de configuración caso 1.



Los paneles fotovoltaicos se colocan en medio de todos los elementos, el generador y el circuito eléctrico se sitúan en la parte superior, mientras que la batería y el controlador de carga se ubican por debajo. Las dimensiones mínimas que tendría la carcasa con el acomodo del caso 1 se exponen en la imagen siguiente.

Figura 38: Medidas mínimas de la carcasa caso 1.



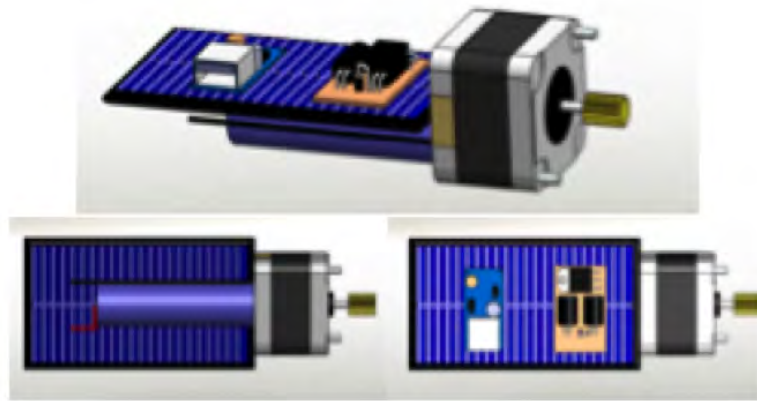
El elipsoide que representa la carcasa que contiene los componentes tendrá un diámetro de 11.4 cm y una longitud de 15 cm.

Los componentes acomodados de esta forma dejan mucho espacio libre debido a que el eje del generador debe estar alineado con el eje central de la elipse.

## Caso 2

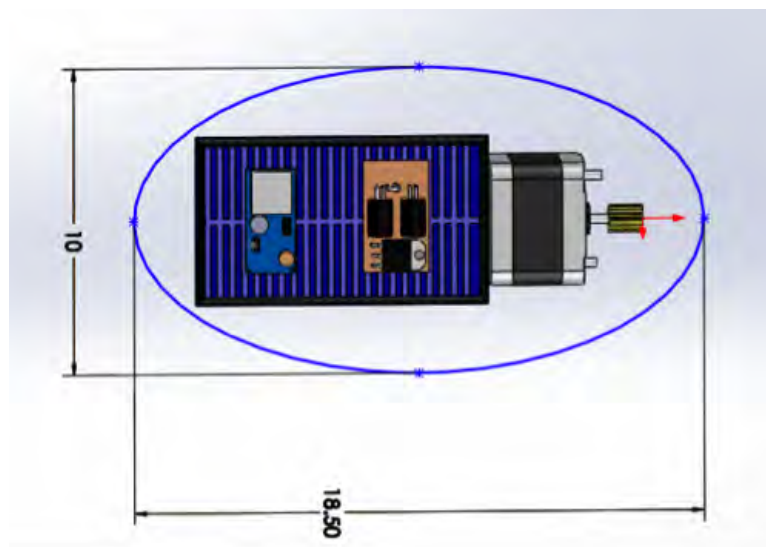
En el caso dos se acomoda el generador alienado con los paneles fotovoltaicos, el controlador de carga y el circuito se colocan sobre los paneles y debajo de ellos se añade la batería. Esta configuración se muestra en la imagen 39.

Figura 39: Estudio de configuración caso 1.



Con este arreglo la longitud del elipsoide será mayor, pero el diámetro disminuirá. Las dimensiones mínimas que tendría la carcasa con el acomodo del caso 2 se enseñan la próxima imagen.

Figura 40: Medidas mínimas de la carcasa caso 2.



El elipsoide representado en la ilustración anterior tendrá un diámetro de 10 cm y una longitud de 18.5 cm. El acomodo de los componentes permite que el volumen del

elipsoide sea menor y los componentes estén equilibrados. Por lo tanto se selecciona la configuración del caso 2.

## Diseño de la carcasa

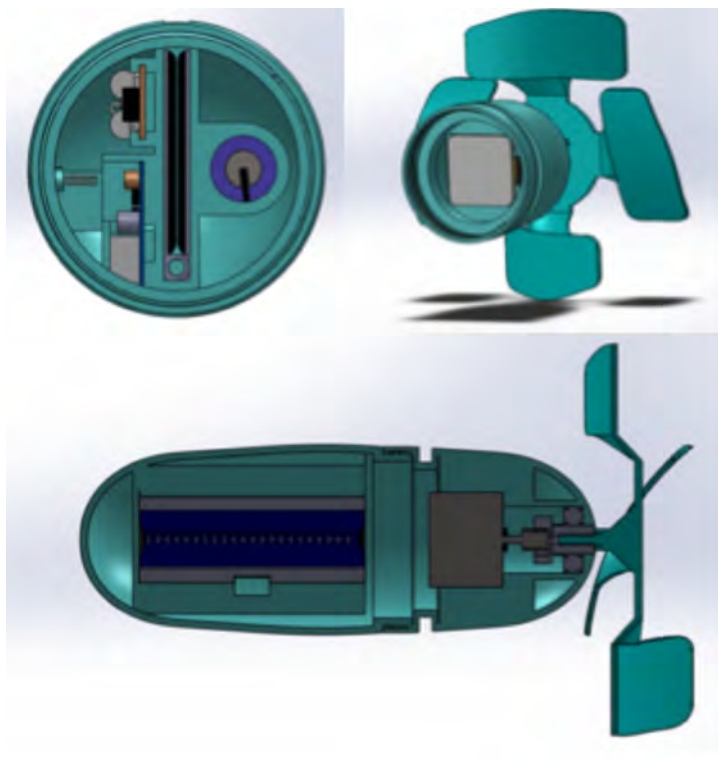
La carcasa fue diseñada de acuerdo al caso dos del estudio de configuración.

La carcasa consta de 2 piezas; una que contiene los componentes eólicos y la otra almacena de los paneles fotovoltaicos y el circuito eléctrico.

Con el fin de poder acceder con facilidad a los componentes internos en caso de necesitar mantenimiento, la carcasa se cierra por medio de una rosca y los soportes internos están diseñados para que sea fácil intercambiar los componentes.

Las piezas se diseñaron con SolidWorks y se presentan en la ilustración 41.

Figura 41: Partes de la carcasa con componentes internos.



De la imagen 41, en la parte superior izquierda se observa la pieza de la carcasa que contiene el circuito, el controlador de carga, los paneles fotovoltaicos, y la batería de respaldo. Se puede apreciar que los paneles fotovoltaicos son los que determinaron el diámetro de la figura.

En la parte superior derecha se presenta la pieza de la carcasa que almacene el generador eléctrico, el eje y el balero. Las aspas seleccionadas en la sección anterior se simularon



para una visualización más general del producto.

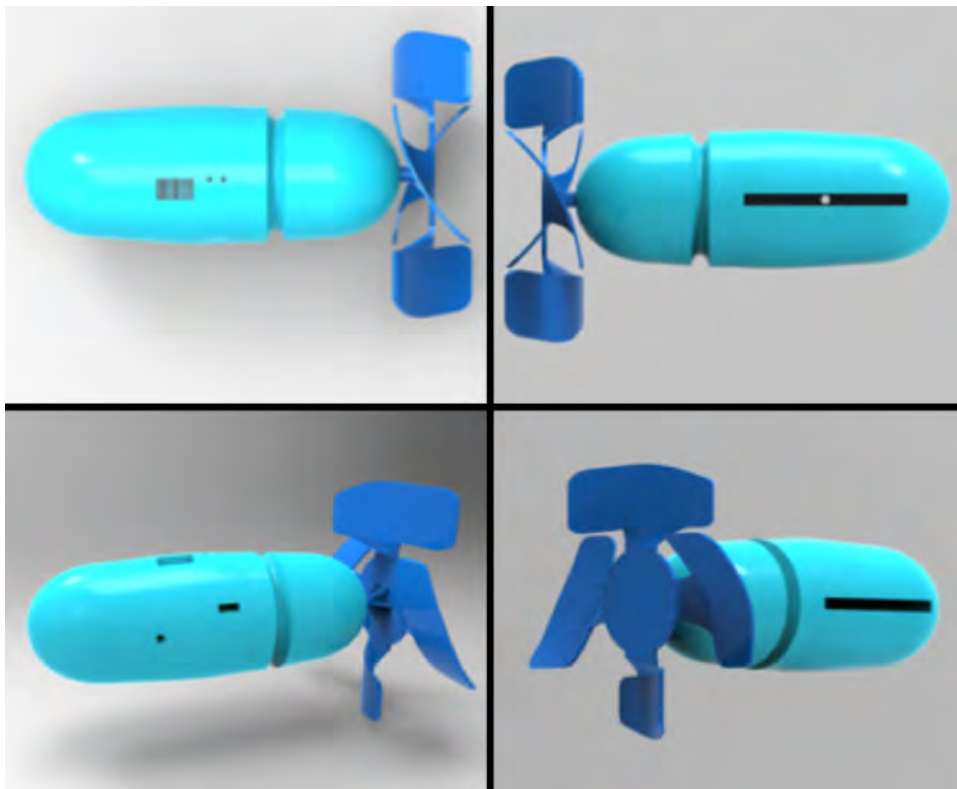
Por último se presenta en la parte inferior de la imagen 41 un corte transversal de todo el dispositivo que ejemplifica el acomodo de los elementos dentro de la carcasa.

Las dimensiones finales del dispositivo son 25.79 cm de largo (incluyendo las aspas) y el diámetro de la carcasa en el centro de 7.62 cm.

Otro aspecto importante a considerar es el punto del que se fijará el dispositivo para que al darle vueltas pueda estabilizarse en el aire. El punto de agarre, es decir el sitio en donde se coloca la cuerda, se fija en el centro geométrico del dispositivo proporcionado por el programa SolidWorks, el cual es probable que tenga cambiarse, ya que puede no coincidir con el centro de masa. Dicha afirmación se corrobora en el próximo capítulo, en donde se presentan los resultados prototipo final.

Después de definir la geometría de la pieza se realiza un render que permite visualizar el aparato de una forma más real. En la figura 42 se expone el producto visto desde distintos ángulos.

Figura 42: Medidas mínimas de la carcasa caso 2.



El material asignado para el render fue plástico brillante. Los colores expuestos en la imagen 42 no son los finales. Para ello es necesario hacer un estudio de mercado y definir el usuario.

## Mecanismo para acceder a los paneles fotovoltaicos

Se diseña un mecanismo para poder utilizar los paneles fotovoltaicos, el cual consiste en unas bisagras que unen los paneles con las caras que reciben la radiación solar encontradas. Como se muestra en la siguiente imagen.

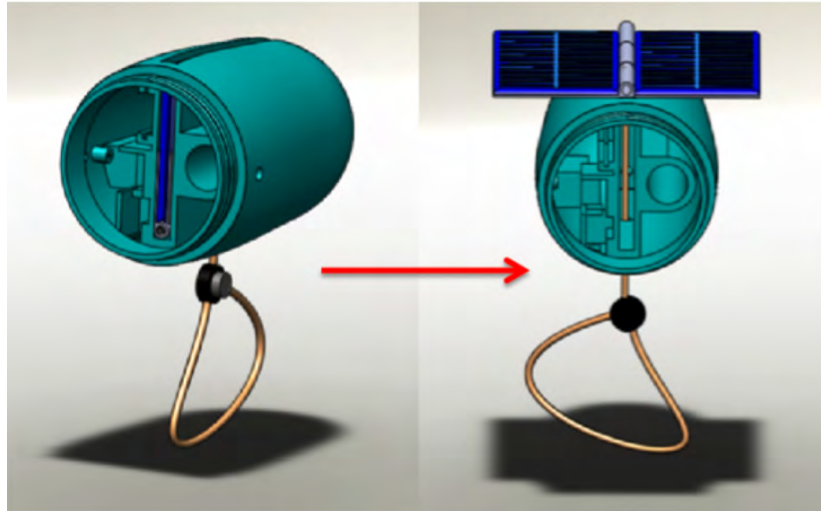
Figura 43: Bisagras que contienen los paneles fotovoltaicos.



Las bisagras se unen con un cordel que las atraviesa. Dicho cordel tiene un botón ahorcador que funciona como seguro para que los paneles permanezca inmóviles dentro de la carcasa cuando no estén utilizando.

Para esclarecer el mecanismo de uso de los paneles fotovoltaicos se presenta la imagen 44.

Figura 44: Bisagras que contienen los paneles fotovoltaicos.



En la figura anterior se contemplan dos ilustraciones con la mitad de la carcasa para observar el mecanismo de uso de los paneles fotovoltaicos. Del lado izquierdo se tienen los paneles guardados y sujetos por el botón ahorcador, esta posición del botón sirve para que los paneles no se salgan cuando el usuario le de vueltas al dispositivo. En el derecho se presenta la simulación de los paneles en uso, los cuales se liberan presionando el botón ahorcador, mientras se rota el dispositivo 180° para que los paneles salgan por su peso, para guardarlos se repite el proceso pero de forma inversa. El usuario notará cuando los paneles estén orientados al sol en la dirección correcta y produciendo energía cuando el LED se encienda.

## Manufactura de la carcasa y las bisagras de los paneles fotovoltaicos

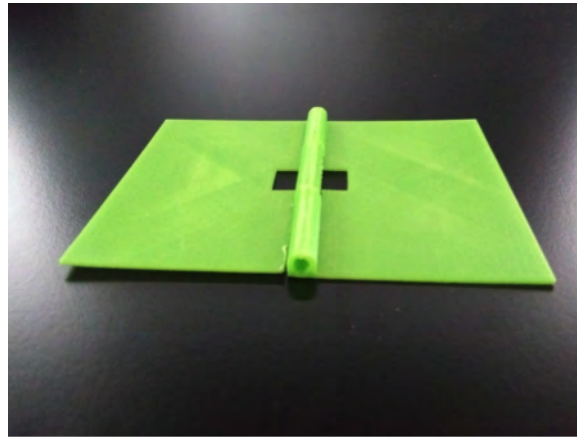
La manufactura de la carcasa y las bisagras de los paneles fotovoltaicos se realizan por medio de impresión 3D.

Gracias al convenio de colaboración entre el Instituto de Energías Renovables y el Posgrado de Diseño Industrial, la elaboración de los componentes estructurales se ejecuta en el Laboratorio del Posgrado de Diseño Industrial con la impresora “Wanhao DESKTOP3D printer”.

El material utilizado para la impresión de las piezas es el termoplástico PLA (ácido poliláctico), por ser fácil de encontrar en el mercado, tener un precio accesible y ser resistente después de la impresión.

Las bisagras fueron las primeras piezas impresas y en ellas se colocarán los paneles fotovoltaicos. El resultado se expone en la próxima ilustración.

Figura 45: Bisagras realizadas por impresión 3D



La pieza anterior no requirió de soportes estructurales, por lo cual no fue necesario limpiarla después de ser impresa. El espesor de las bisagras es de 1.2 mm, el cual debe ser evaluado con el fin de verificar la resistencia al uso. El diseño que se realiza para la carcasa mostrado en la sección anterior incluye una rosca que une las dos piezas que contienen los elementos internos. Antes de imprimir toda la carcasa se verifica que la rosca diseñada funcione correctamente. en la imagen consecutiva se presenta la rosca impresa.

Figura 46: Prueba de la rosca del dispositivo.



La primera impresión de la rosca no fue satisfactoria debido a que no se consideró la tolerancia suficiente entre las piezas. Una vez identificado el problema se imprimió la pieza correcta. Esta situación es un ejemplo de la ventaja que se tiene al imprimir en 3D, los errores son fáciles de corregir.

La parte de la carcasa que contiene el generador se imprime en una sola pieza, mientras

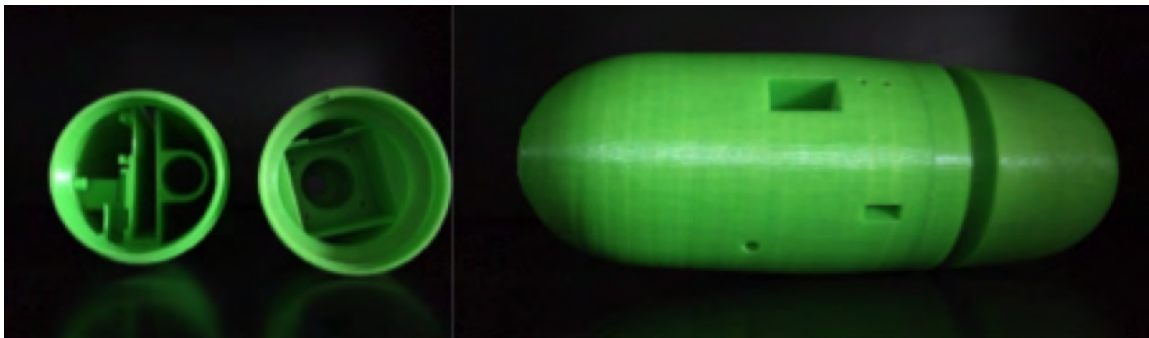
que la pieza de la carcasa que almacena los paneles fotovoltaicos, la batería y el circuito se divide en dos partes debido a que construirla como una sola pieza era muy complicado para la impresora 3D. En la imagen de inferior se ilustran las piezas obtenidas.

Figura 47: Piezas de la carcasa impresas en 3D.



Una vez finalizada la impresión se limpian las piezas y se ensamblan. Para la unión de las piezas separadas se utiliza pegamento industrial. El resultado final se muestra a continuación.

Figura 48: Piezas de la carcasa ensambladas



El ensamble de las piezas impresas es exitoso, se ajustan adecuadamente, son resistentes y cumplen su función.

## Manufactura para el producto final.

Ya que se determina el prototipo final se proponen diversas formas de manufactura para la producción en masa. Los procesos de manufactura considerados son; termoforado, inyección de plásticos, impresión 3D y manufactura con fibra de carbono. Para



seleccionar el proceso más conveniente se realiza una tabla comparativa de los métodos de manufactura mencionados anteriormente.

Figura 49: Tabla comparativa de los métodos de manufactura considerados para el proyecto.

Proceso de manufactura	Descripción	Tipos	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones	Materiales de trabajo.
<b>Termoformado</b>	Se calienta una lámina de termoplástico para adaptarse a la forma de un molde por medio de vacío o mediante un contramolde.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Termoformado a presión.</li> <li>• Termoformado al vacío.</li> <li>• Termoformado a presión y vacío.</li> <li>• Termoformado con contramolde.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pequeña inversión inicial</li> <li>• Piezas más delgadas y livianas</li> <li>• Velocidad de producción .</li> <li>• Bajo costo del molde</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moldes sencillos</li> <li>• No hay uniformidad en el espesor.</li> <li>• Porcentaje de desperdicio es elevado</li> <li>• Los residuos requieren subprocesos.</li> </ul>	Envases y embalaje	Poliestireno, PVC, ABS, metacrilato, etc
<b>Inyección</b>	Se inyecta un polímero, cerámico o metal en estado líquido en un molde cerrado a presión y con temperaturas menores a las del fluido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Máquina de embolo</li> <li>• Máquina de tornillo recíproco</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amplia variedad de formas</li> <li>• Poco trabajo de acabado</li> <li>• Proporciona diversas texturas y colores</li> <li>• Objetos de precisión</li> <li>• Automatización de las máquinas</li> <li>• Productos plásticos con tolerancias muy pequeñas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperaturas y presiones altas</li> <li>• Es difícil medir con exactitud la cantidad de material en cada ciclo de moldeo.</li> <li>• Cualquier variación de la densidad del material alterara el peso de cada embolada.</li> <li>• La presión en la boquilla puede variar ciclo a otro.</li> </ul>	Ordenadores, equipos electrónicos, algunas partes de los automóviles, juguetes, etc.	Polímeros, cerámica o metal.
<b>Impresoras 3D</b>	Aparatos capaces de producir figuras tridimensionales adicionando material por capas a partir de las coordenadas de la geometría	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adición o de inyección de polímeros</li> <li>• Sinterización láser:</li> <li>• Compactación</li> <li>• Sinterizado laser.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidad de generar prototipos</li> <li>• Las impresoras ocupan un espacio pequeño</li> <li>• Diversidad de materiales</li> <li>• Facilidad para modificar las geometrías</li> <li>• Hacer réplicas de objetos dañados</li> <li>• Poco material de desecho</li> <li>• Alta precisión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Largo tiempo de impresión.</li> <li>• Precios elevados</li> <li>• Control de la temperatura del sitio donde se lleva acabo la impresión</li> <li>• Área de impresión pequeña</li> </ul>	Prototipos, piezas de remplazo, piezas finales.	ABS, PLA, nylon, ninjaflex, HIPS, PET, metales, madera, plásticos de ingeniería, etc.
<b>Fibra de vidrio</b>	La manufactura con fibra de vidrio se puede hacer de forma manual, por el método de inyección o a través de un esreado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede ser artesanal</li> <li>• Inyección RTM,</li> <li>• Esreado de resina y fibra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Algunas fibras son resistentes a la tracción, a la corrosión, al fuego y tienen un elevado módulo de elasticidad</li> <li>• Mínimo desperdicio</li> <li>• Reproducción de detalles</li> <li>• Permite todo tipo de acabados y colores</li> <li>• No hay limitación en el tamaño del objeto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto costo en producciones pequeñas</li> <li>• El acabado depende de la persona que realiza el trabajo</li> <li>• Es necesario un procedimiento de acabados manual</li> <li>• La merma es contaminante.</li> </ul>	Recubrimientos, aislamiento acústico, telas, aspas eólicas, partes de automóviles, férulas, etc	Silicio, Nylon, resina epoxica, resina queblia, poliéster, etc.

Analizando la tabla anterior, se descarta la manufactura por termoformado ya que la geometría del dispositivo es complicada, también se excluye el proceso con fibra de vidrio debido a que el proceso es artesanal y tiene un alto costo en producciones pequeñas. Se seleccionan dos procesos de manufactura, la manufactura por impresión 3D y la manufactura por inyección de plásticos. El primer proceso se considera para un plan a corto

plazo y el segundo para uno a largo plazo.

La manufactura por impresión 3D se elige para hacer una producción pequeña, las ventajas principales de esta tecnología son: la impresión de geometrías complejas y accesibilidad que hay para adquirir estas máquinas en México. La segunda propuesta es la manufactura por inyección de plásticos, la cual se considera para una mayor producción, porque es una buena opción para la generación de productos en serie y se pueden realizar una gran variedad de formas. Más adelante se desglosará cada proceso detalladamente.

## Manufactura por impresión 3D

Como se menciona anteriormente la manufactura por impresión 3D en este proyecto se considera para un plan a corto plazo porque tiempo y el costo para comenzar la fabricación del producto es menor que por el método de inyección de plásticos para una producción pequeña. Este proceso consiste en reproducir figuras tridimensionales a partir de coordenadas geométricas y existen diversas formas, en este caso se considera la impresión 3D por adición, cuyo principio de funcionamiento es agregar el material fundido por capas, el cual se une por el calor inducido en el polímero por un extrusor y se solidifica a temperatura ambiente.

### Material seleccionado

El material seleccionado para este proceso es el ácido poliláctico (PLA). Sus características se muestran en la próxima tabla.

<b>Material</b>	PLA
<b>Descripción</b>	Ácido poliláctico, termoplástico de origen natural biodegradable.
<b>Características durante el proceso de impresión</b>	La temperatura de trabajo del material para fundirse es de 190 a 200 °C, su densidad es de 1.03 g/cm <sup>3</sup> y el módulo de elasticidad que presenta es de 3.63 GPa.
<b>Características después del proceso de impresión 3D</b>	Pierde propiedades con la humedad, es resistente al impacto, es difícil de deformar.

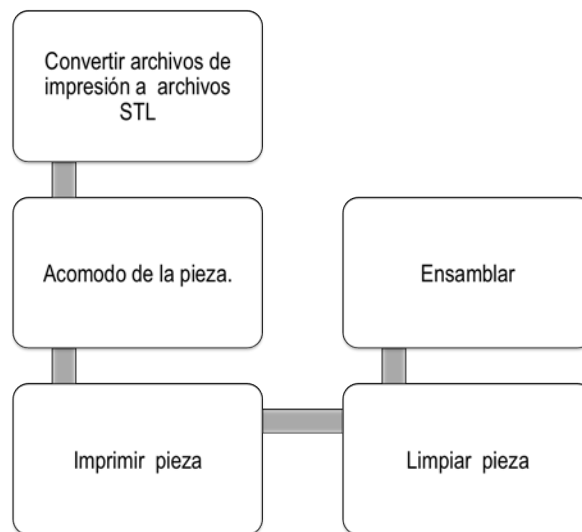
Cuadro 7: Tabla de características del PLA

Las principales razones por la cual el PLA se selecciona es por la resistencia que presenta al impacto, por ser uno de los productos más utilizados para la impresión 3D y porque es difícil de deformar.

### Proceso de manufactura

El proceso de manufactura por impresión 3D se explica con el siguiente diagrama de flujo.

Figura 50: Diagrama del proceso de manufactura por impresión 3D



En la figura anterior se indica que una vez diseñados los elementos que se desean manufacturar en un software de diseño se convierten los archivos generados en archivos STL (Standard Triangle Language por sus siglas en inglés) para que la impresora 3D sea capaz de reproducir la geometría, posteriormente se abre el archivo en el software con el que cuenta cada impresora y se acomoda la pieza para obtener el mejor posición con el fin de imprimir de la forma más eficiente, después se traslada el archivo generado por el programa a la impresora 3D y se imprime, una vez impresa la geometría se limpian los soportes y las rebabas, por último se ensamblan los productos obtenidos.

### Costos de producción

Para el dispositivo del proyecto se cuenta con tres piezas de impresión, cada una de ellas tiene las siguientes características de impresión.



Pieza	Cantidad de material [g]	Tiempo de impresión	Costo por pieza [\$]
Carcasa 1 (PFV)	95.4	15 hrs, 6 min, 2 seg	36.26
Carcasa 2 (motor)	80.2	11 hrs, 0 min, 43 seg	30.48
Soporte circuito	62.4	9 hrs, 32 min, 44 seg	23.72

Cuadro 8: Tabla del costos de manufactura por impresión 3D

La tabla 9 presenta la cantidad en gramos de material utilizado para la realización de cada pieza, el tiempo de impresión y el costo por pieza.

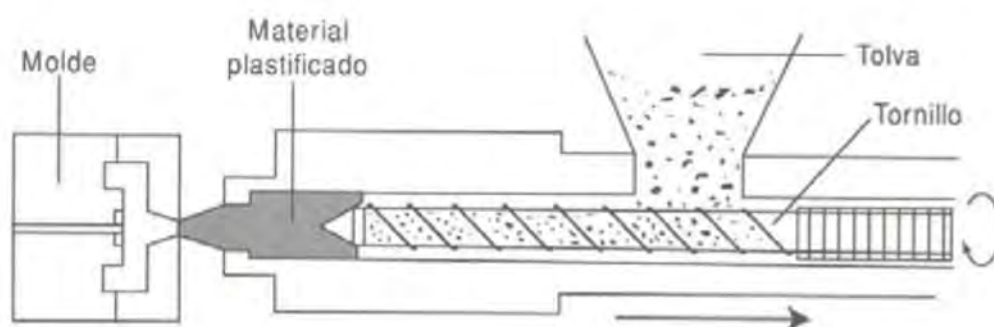
Para el cálculo del costo, las variables que se consideran son: la cantidad de material utilizado, el tiempo de impresión y el costo de la electricidad por kilowatt hora establecido por CFE de 2.497 kWh (para la tarifa PDBT) . El costo total de la manufactura de todos los componentes es de \$90.46

## Manufactura por inyección de plásticos

El proceso de manufactura por inyección de plásticos se considera para un plan a largo plazo, para cuando se cuente con un capital amplio y se requiera de una producción en masa, debido a que la manufactura por este proceso es viable económicamente cuando se fabrican productos en gran cantidad.

El proceso de la manufactura de un producto por inyección de plásticos puede ser con una máquina de émbolo o por una de tornillo recíproco. En este caso es ejemplifica el mecanismo de funcionamiento de la máquina de tornillo recíproco en la figura 51.

Figura 51: Proceso de manufactura inyección de plásticos.



El procedimiento para la inyección de plásticos de la imagen superior consiste en depositar el material en en la tova, en se aplica calor al termoplástico para fundirlo,

posteriormente de empuja con el tornillo hasta el que se encuentra a una temperatura menor a la del material y finalmente se libera la pieza.

### Material seleccionado

El termoplástico que se considera para esta forma de manufactura es el polipropileno (homopolímero PL948N), del cual se muestran sus principales características a continuación.

<b>Material</b>	Polipropileno, homopolímero PL948N
<b>Descripción</b>	Homopolímero de muy alto índice de fluidez, bajo olor y alta rigidez.
<b>Temperatura de fundido</b>	190 a 288 °C
<b>Velocidad del tornillo</b>	50 a 200 rpm
<b>Encogimiento</b>	0.004 a 0.01 mm/mm

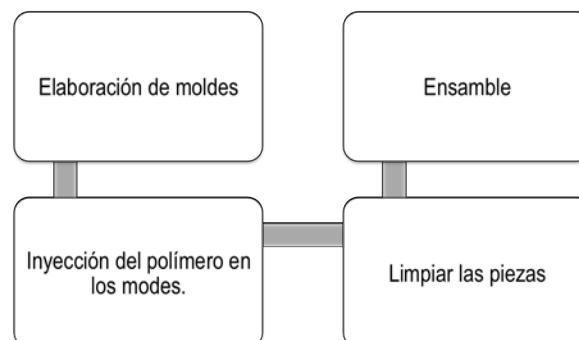
Cuadro 9: Tabla del costos de manufactura por impresión 3D

Se elige el homopolímero PL948N por su alta rigidez, su abundancia en el mercado, la amplia gama de colores y el precio.

### Proceso de manufactura

El proceso de manufactura por inyección de plásticos se presenta con el siguiente diagrama 52.

Figura 52: Proceso de manufactura por inyección de plásticos



El procedimiento de la manufactura por inyección de plásticos consiste en realizar moldes metálicos de las piezas que se desea manufacturar, después se inyecta el polímero en los moldes, se limpian las piezas de rebabas y el material resultante de los respiraderos, por último se ensamblan las piezas con pegamento o con la misma geometría.

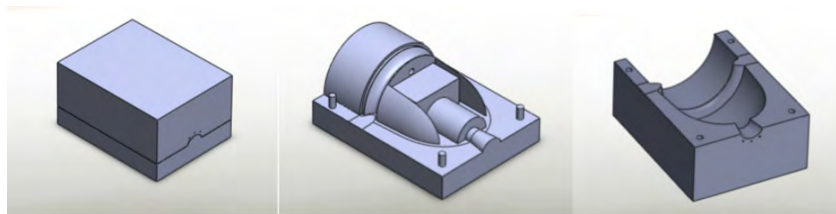
## Costos de producción

Para calcular el costo de las piezas que se quieren manufacturar es necesario realizar los moldes en los que se fabricarán. Éstos deben tener las siguientes características:

- Guías (hembra y macho)
- Un orificio de purga
- Respiradero
- Entrada para el inyector

Las características mencionadas son importantes para el diseño de los moldes, es indispensable que estos se diseñen con base en el producto final debido a que una vez realizados las modificaciones implican un costo extra elevado. Para el dispositivo del proyecto se realizan 4 moldes, sin embargo al ser piezas pequeñas se pueden unir en un solo molde para que el costo disminuya. A continuación se presenta un ejemplo de los moldes diseñados.

Figura 53: Molde diseñado para la manufactura por inyección de plásticos



Los el precio por la manufactura de cada molde ronda entre los \$60,000 y \$100,000 y cada modificación que se requiera hacer cuesta aproximadamente \$13,000 por cada cambio.

Cada kilogramo del homopolímero elegido tiene un costo de \$100 por kilogramo. Considerando que las piezas que se manufacturan tienen un peso aproximado de 200 gramos, el costo del material utilizado por dispositivo será de \$20.

La inversión más fuerte se presenta en la manufactura de los moldes, sin embargo si la producción es grande, el precio de manufactura de los componentes estructurales del dispositivo se reduce.

## Costo del dispositivo

Para el costo del dispositivo se contemplan únicamente los materiales y elementos utilizados, no se toma en cuenta el costo del trabajo invertido y ni la manufactura de los componentes.

En el cuadro 10 se expone el precio de los elementos utilizados para la fabricación del producto final

<b>Componente</b>	<b>Precio (\$)</b>
Aspas	15.00
Motor	50.00
Paneles (2)	100.00
Carcasa y bisagras	90.45
Diodos (3)	6.00
Cable	5.00
Batería	100.00
Placa fenolica	1.33
Regulador	6.00
Rectificador	8.00
Capacitor	3.00
Eje	40.00
Tornillo	3.00
Controlador USB	25.00
Rodamiento	40.00
Led	5.00
<b>Total</b>	<b>\$497.78</b>

Cuadro 10: Tabla del costo del dispositivo

De acuerdo con la tabla anterior el costo del producto final es de \$497.78. Si se considerara éste el costo final, el producto podría incorporarse fácilmente al mercado de gatgets renovables debido a que el precio de estos es al rededor de \$1,000.

## Análisis del perfil del usuario

Como se ha mencionado a lo largo del proyecto el dispositivo se fabrica con la intención de ser útil para la divulgación científica, es decir los usuarios posibles son personas que

se interesan en las energías renovables y tienen la necesidad de abastecer de energía sus dispositivos electrónicos.

Con el perfil de usuario anterior el escenario más probable es que el dispositivo se utilice para pláticas educativas, museos y exposiciones científicas. Lo cual reduce el mercado, ya que como se presenta en el marco teórico en la sección de divulgación de la ciencia, el porcentaje de personas interesadas por las energías renovables y en general por la ciencia es mínimo.

Por las razones mencionadas anteriormente se propone cambiar el perfil del usuario, con el objetivo de ampliar el mercado.

La propuesta consiste en considerar como nuevo usuario a las personas que realizan actividades al aire libre, específicamente para aquellos que gozan del campismo.

El nuevo usuario será gente joven que realice actividades deportivas al aire libre, que requiera de energía eléctrica para cargar sus dispositivos electrónicos y quiera disminuir su huella de carbono a través del uso de energías renovables.

# Análisis y resultados del producto final

En esta sección se presenta el análisis y los resultados finales del aparato fabricado. Se muestra el producto final ensamblado, las pruebas aplicadas para validar su funcionamiento y una lista de las mejoras que se pueden aplicar al dispositivo en un futuro.

## Dispositivo ensamblado

Todos los elementos que conforman el dispositivo se ensamblaron. Las piezas impresas de PLA se fijaron con pegamento, el rotor se acopló atornillándolo a la carcasa, el circuito y el controlador de carga encajaron en la geometría interna diseñada, la batería se pegó, el balero se fijó con pegamento a la carcasa, el eje que une las aspas con el generador se ensambló en el balero y los paneles se ajustaron como se indica en el capítulo anterior. En la próxima imagen se ilustra el acoplamiento interno de los componentes.

Figura 54: Ensamble del dispositivo interno



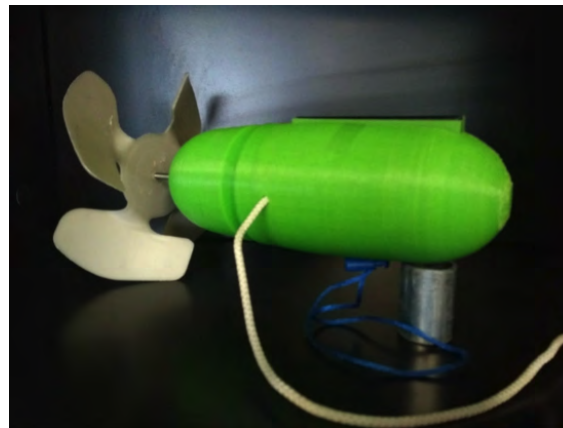
Los componentes embonaron correctamente, el ensamblado de la parte interna de la carcasa que contiene los paneles fotovoltaicos se fijó con facilidad. Sin embargo la unión de

los componentes eléctricos fue complicada debido a que los espacios para la manipulación de los cables son pequeños, a pesar de ello se logran conectar correctamente todos los elementos eléctricos.

Para solucionar el problema de las conexiones se puede modificar la geometría interna por una más simple con el fin de que los cables puedan quedar ordenados y no dañarse, también es posible agregar borneras en las que se ajusten los cables y evitar que se desordenen debido a la manipulación del dispositivo.

En la imagen consecutiva se presenta el una vista externa del dispositivo ensamblado.

Figura 55: Dispositivo ensamblado



En la figura 55 se observa el primer prototipo ensamblado. Es notorio que los paneles fotovoltaicos sobresalen de la geometría, esto se debe a que el espacio diseñado para los cables no fue suficiente y por lo tanto es necesario modificar la forma externa del dispositivo para que los paneles no sobresalgan.

Otra observación en cuanto al producto final es que las aspas hacen que el producto sea difícil de guardar y hay que tener cuidado de no golpearlas, ya que se puede provocar una desalineación en el eje. Por lo tanto se propone modificar las aspas para que sean retráctiles y se puedan incorporar al cuerpo que contiene los demás elementos.

Es importante mencionar que el dispositivo tiene un peso final de 595.8 g, el cual difiere del utilizado para el dimensionamiento eólico.

El peso final es mayor, lo cual se cambian las velocidades de viento que pueden obtenerse y por lo tanto también se modifica la longitud ideal de la cuerda para darle vueltas. Los resultados de este suceso se describen más adelante

## Pruebas realizadas

Las pruebas realizadas para validar el funcionamiento del producto fueron:

- Corroboración del funcionamiento del circuito eólico.
- Validación del mecanismo de los paneles fotovoltaicos.
- Capacidad de los paneles fotovoltaicos para cargar la batería de respaldo.
- Verificación del abastecimiento de energía con el recurso eólico.
- Comprobación del funcionamiento del dispositivo a partir de cargarlo dándole vueltas.
- Demostración de la carga de aparatos electrónicos con el dispositivo.

### Recurso solar

Se analiza el mecanismo de los paneles fotovoltaicos, el cual funciona adecuadamente, los paneles entran y salen, las bisagras diseñadas son adecuadas para el tamaño de estos y se doblan y desdoblán con facilidad, sin embargo los cables que van soldados a los paneles dificultan un el movimiento para extraerlos, lo cual hace probable que con el uso constante puedan desoldarse.

La solución posible para el la conexión de los paneles con el circuito es realizar un ducto en la geometría en donde puedan salir y entrar con facilidad.

En la imagen de abajo se presenta una fotografía con los paneles fotovoltaicos cargando la batería de respaldo.



Figura 56: Prueba de los paneles fotovoltaicos en Temixco Morelos



Para cerciorarse que los paneles fotovoltaicos cargan correctamente se coloca un led después del regulador de carga, el cual indica que los parámetros eléctricos establecidos anteriormente en el trabajo se cumplen y por lo tanto la batería se abastece de energía. En la imagen 56 se muestran los paneles fotovoltaicos recibiendo radiación solar en Temixco Morelos. Se observa el led encendido, el cual indica que la batería se está cargando, es decir el dimensionamiento solar y la forma de la geometría para dirigir los paneles hacia la radiación funcionó.

### Recurso eólico

Se prueba el producto obtenido simulando el recurso eólico con los ventiladores utilizados en la sección anterior y dándole vueltas como se explica en el capítulo del funcionamiento del dispositivo.

La prueba que se realizó con ventilador 3 (expuesto en la sección de integración), el cual otorga una velocidad máxima de viento de 7.9 m/s a una distancia de éste de 10 cm, se consideró la máxima velocidad ya que como se prueba en la sección del dimensionamiento eólico la mínima velocidad alcanzada es de 10 m/s.

Los resultados de dicha prueba no fueron satisfactorios, ya que las aspas se logran mover, pero no a la velocidad de rotación necesaria para que el generador cumpla las características eléctricas que requiere la batería. Esto se debe a que la geometría del cuerpo es muy ancha no permite que el flujo de aire incida directamente a el área de barrido de las aspas. Con el fin de solucionar la incidencia del viento en las aspas se coloca un tornillo más largo para que al alejar las aspas de la geometría sea posible que la velocidad de viento

se modifique menos y así pueda cargarse la batería.

Posteriormente se realizó la prueba para evaluar si es posible generar energía a partir de darle vueltas al dispositivo.

A continuación se muestra la imagen que expone la manipulación del dispositivo mencionada.

Figura 57: Funcionamiento del dispositivo al darle vueltas



En esta prueba se rescata que el funcionamiento del mecanismo de los paneles para mantenerlos dentro de la geometría es satisfactorio, los paneles permanecen inmóviles mientras se le da vueltas al dispositivo.

Para verificar el funcionamiento de carga con el generador eólico, aprovechando la velocidad que se alcanza al darle vueltas. Se probó con 1.5 m y 2 m de cuerda.

Realizando el experimento varias veces se obtuvo una velocidad promedio de 7.28 m/s con 1.5 m de cuerda y 8.79 m/s con 2 m.

Se logra cargar la batería usando una cuerda de 2 m, sin embargo la carga es intermitente, ya que el dispositivo no logra estabilizarse adecuadamente y solo por pequeños momentos alcanza la velocidad de rotación nominal.

También se rectificó que cambiar el tamaño del eje del rotor ayuda a que la incidencia del viento sea más directa y por lo tanto la velocidad de rotación sea mayor.

Después de diversas pruebas se observó que cambiando el punto de agarre del dispositivo, del centro de geometría al centro de masa, el objeto muestra más estabilidad al girar, a pesar de ello se piensa que agregando un ala al aparato puede ésta pueda aumentar.

Otro hallazgo es que para que el dispositivo gire en la dirección correcta las vueltas al principio deben ser lentas con la finalidad de que el dispositivo pueda estabilizarse.

Además se prueba el dispositivo orientado en sotavento y barlovento, para esta prueba se requirió voltear las aspas, ya que las aspas no son simétricas y giran más rápido en el lado que muestra concavidad.

Cuando se coloca el objeto en dirección sotavento la velocidad de rotación es mayor que en barlovento. De igual forma se presenta una mayor estabilidad en posición sotavento que en barlovento debido a que el cuerpo del prototipo ayuda a que la orientación no cambie drásticamente.

Por último a pesar de que el dispositivo final es pesado la manipulación de este no presenta dificultad por un periodo corto de tiempo, para garantizar un uso prolongado se requiere cambiar el generador por uno menos pesado sin importar que la generación de energía pueda disminuir.

### **Carga de dispositivos electrónicos**

Una vez cargada la batería es posible cargar cualquier dispositivo electrónico que cuente con un cable con USB.

Para cargar la batería de debe oprimir el botón de encendido, el cual prenderá el LED que incluye el controlador de carga, si éste es de color rojo indica que la batería tiene energía almacenada que puede utilizarse.

Con las indicaciones anteriores se verificó que la batería puede cargar un dispositivo electrónico. La capacidad de carga de esta es de 1800 mAh, dependiendo del tamaño de batería del dispositivo que se quiera recargar será el porcentaje de carga que se pueda obtener.

## **Propuestas para mejorar el proyecto a futuro**

En esta sección se expone una lista de propuestas que surgen a lo largo del proyecto para la mejora de del dispositivo.

- Analizar si el tiempo de vida de la batería es afectado por no utilizar un controlador de carga a la entrada.
- Utilizar un motor que sea menos pesado aunque no genere la potencia óptima, con el fin de disminuir el peso del dispositivo y que sea más fácil de manipular.
- Hacer el diseño de la carcasa con una forma más aerodinámica.
- Cambiar el material de impresión por uno menos pesado.

- Hacer modificaciones al diseño industrial para que pueda ser un producto comercial para usuarios que hacen actividades al aire libre.
- Hacer pruebas de usabilidad.
- Efectuar métodos de producción que sean más eficientes que la impresión 3D.
- Realizar un estudio de mercado.
- Cambiar el punto de agarre del dispositivo al centro de masa.
- Agregar un ala al dispositivo para asegurar la estabilidad de éste al girar.
- Rediseñar las aspas para que puedan incorporarse a la carcasa y de esta forma el dispositivo sea portátil.
- Modificar el mecanismo de salida de los paneles fotovoltaicos.
- Buscar proteger el producto a través de una patente.
- Determinar el tamaño del eje ideal a partir de una simulación numérica para observar el comportamiento del flujo.
- Divulgación de las energías renovables con el uso del dispositivo.
- Caracterizar el dispositivo como un conjunto.



# Conclusiones

El dispositivo desarrollado puede mejorar su funcionamiento con algunas modificaciones pero lo acertado del mismo es que se comprobó que se pueden utilizar las energías renovables para cubrir la necesidad energética de los aparatos electrónicos, ya que se consiguió diseñar un prototipo de generación eléctrica, eólico-solar, que funciona para el abastecimiento de aparatos eléctricos.

La aportación energética hacia la batería es eólica y solar, resultando que la generación de energía solar a pequeña potencia es más eficiente que la eólica, debido a que la máxima potencia generada por la turbina eólica fue de 3.8 W a 7.7 m/s y al regular el voltaje al nominal fue de 0.5 W, mientras que la potencia máxima que presentó el arreglo fotovoltaico es de 1.2 W y al regular el voltaje al nominal fue de 1 W. De donde resultó que el tiempo de carga de la batería fuera más lento.

En general, la integración del recurso eólico y solar a través de un circuito electrónico fue satisfactoria.

La relación del diseño industrial y la ingeniería fue fundamental para la construcción del dispositivo, ya que la aplicación de ambas especialidades propicia que la tecnología pueda ser accesible, útil y estética.

Se considera un acierto la manufactura realizada en impresión 3D de este trabajo, pues es una tecnología que permite modificar las piezas con facilidad.

Dentro de los objetivos del dispositivo se encontraba el relativo a su portabilidad, aunque se alcanzó un grado básico de este aspecto, se estima que pueden hacerse modificaciones en el diseño y los componentes para que el artefacto pueda ser más fácil de utilizar y guardar.

El desarrollo del dispositivo fue enriquecedor por integrarse en el mismo la parte tecnológica, científica y social, en este último aspecto puede utilizarse como herramienta de divulgación científica y evidencia tangible y accesible de que existen diversas maneras de producir energía.



# Anexos

## Perfil de diseño del producto (PDP).

### Aspectos generales

- Descripción del Objeto.
  - Es un dispositivo portátil, cuya función es cargar un aparato electrónico con energía limpia, para abastecerlo eléctricamente , principalmente con un generador de baja potencia y con dos paneles fotovoltaicos.

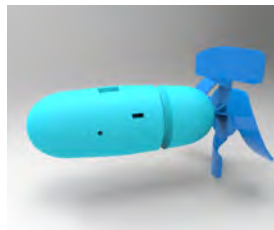


Figura 58: Simulación del producto

- ¿Para qué sirve el objeto?
  - Para cargar cualquier tipo dispositivo electrónico a través de una fuente de energía renovable.
- ¿Qué normas y restricciones lo rigen?
  - .....

### Aspectos de Mercado

- ¿Quién lo va a comprar?



- Hombres o mujeres que se encuentren en un rango de edad de 15 a 30 años, que cuenten con un dispositivo móvil, que tengan la necesidad de reabastecer de energía el dispositivo y que estén interesados por el medio ambiente.
- ¿Quién o quienes lo van a usar?
  - Personas que cuenten con la capacidad económica de tener dispositivos electrónicos y quieran cargarlos sin necesidad de estar conectados a la red.
- ¿Qué es lo que se espera del objeto?
  - Se espera que el dispositivo genere un cambio de conducta en las personas para el aprovechamiento de energía . Con el beneficio de cargar sus dispositivos electrónicos en cualquier lugar.
- ¿Dónde se va a colocar y/o usar?
  - Se puede usar en lugares donde el dispositivo esté expuesto al viento o sol para la generación eléctrica, es posible utilizarlo manualmente en cualquier lugar amplio.
- ¿Dónde se pretende adquirirlo?
  - Kichink (<https://www.kichink.com>)
- ¿Qué le ofrecen otros productos similares/homólogos/análogos?
  - Los productos que pueden competir con el dispositivo son las baterías de respaldo que se cargan conectándolos a la red, las fundas para celulares de paneles fotovoltaicos y las pequeñas turbinas eólicas que se cargan dejándolas en un solo lugar.
- ¿Cómo podría ser mejor?
  - Sin depender de las corrientes de viento, mecánicamente cuando se le dan vueltas al dispositivo se modula la velocidad del avión y dependiendo de ésta se mueven las aspas.
- ¿Cuál sería un precio adecuado de venta para el consumidor final, comparado con lo previamente existente?
- \$1,000

## Aspectos de distribución

- ¿Dónde se almacenará?
  - En bodegas.
- ¿Cómo se empacará y estibará?
  - Se empacará con máquinas en cajas de cartón.
- ¿Cómo se distribuirá y transportará?
  - En camiones que lleven el producto a las tiendas de electrónica.
- ¿La distribución será local, nacional, internacional?
  - Local, nacional y puede escalar a una distribución mundial (por paquetería)
- ¿Cómo se exhibirá?
  - En redes sociales, con videos explicativos , en ferias de ciencia e innovación, en la página web del producto.

## Aspectos productivos

- ¿Cuántas Unidades se producirán? ¿En cuánto tiempo?
  - 10 por día para empezar

¿Dónde se va a producir?

- Los componentes del circuito se van a conseguir con proveedores, la carcasa, aspas y cuerda se fabricarán mediante la impresión 3D.

¿De qué maquinaria y procesos se dispone para su producción?

- Ninguna, pero se requiere :
  - Impresora de circuitos
  - Impresora 3D
  - Máquina de embalaje
  - Torno
  - CNC

¿Qué materiales se pueden emplear?

- Polipropileno (homopolímero PL948N)

¿Cuáles son las expectativas de utilidad (Precio de venta – Costo de Producción)?

- Costo de producción: \$497.78
- Costo de venta : \$1,000

### Aspectos funcionales

- ¿Que deberá hacer el producto?
  - Generar energía eléctrica para cargar un dispositivo electrónico.
- ¿Dónde lo deberá hacer?
  - En cualquier lugar, donde haya viento o sol o un sitio amplio para darle vueltas al avión
- ¿Qué tan frecuentemente se utilizará el producto? ¿Por cuánto tiempo consecutivo?
  - Se usa cada vez que ne necesite energía eléctrica para cargar un dispositivo electrónico. El tiempo de carga de la batería de respaldo es de tres horas con una corriente y voltaje constantes.
- ¿Que deberá resistir?
  - Golpes por caídas, exposición al agua.
- ¿Cómo se le dará mantenimiento?
  - La empresa ofrece el servicio de revisión de partes y cambio de éstas si es necesario.

### Aspectos tecnológicos

- ¿El producto presenta alguna tecnología especial?
  - Una aplicación que te indica la energía que se ha producido, cuál es la velocidad del viento y la carga de la batería (en un futuro).
- ¿Cuáles son los requisitos tecnológicos del producto?
  - Circuito eléctrico, panel fotovoltaico, generador eólico.

- ¿Existen otras tecnologías que el producto pueda usar sin modificar su función?
  - No
- ¿El producto es mecánico, eléctrico, electrónico o tiene alguna necesidad especial para su funcionamiento?
  - Es eléctrico y mecánico.
- ¿Es una invención el producto?
  - Sí, es una nueva forma de generar energía utilizando energías renovables.

### Aspectos ergonómicos

- ¿Cómo debe usarse?
  - Tiene diferentes formas de uso; la primera es tomar el dispositivo por la cuerda y darle vueltas manualmente, la segunda es dejarlo colgado en un lugar donde haya corriente de aire (puede ser una ventana), la tercera es exponerlo al sol y la cuarta colocarlo en un lugar donde haya un flujo de aire y esté expuesto a la radiación solar.
- ¿Qué características de seguridad debe cumplir?
  - Aislamiento del circuito, cuidado con las piezas pequeñas del interior, que la cuerda sea resistente.
- ¿Qué debe comunicar el producto?
  - El uso de energías renovables en la vida cotidiana para cargar un gadget donde no se tiene acceso a la electricidad. Es un producto novedoso y amigable con el medio ambiente.
- ¿Cuáles son las relaciones que existen entre el usuario, el objeto y el entorno?
  - Personas cocientes en cuanto al uso y aprovechamiento de la energía eléctrica.
- ¿Se presenta alguna dificultad para comprender el objeto? ¿Cómo podría resolverse?
  - Se puede complicar la forma de uso del objeto; se pretende resolver el problema con un manual de uso y videos ilustrativos.

### Aspectos estéticos

- ¿Qué otras cosas le gustan el consumidor?
  - La generación de energía sin estar conectado a la red, el color del avión, que es un producto portátil y la personalización del producto.
- ¿Qué intención estética debe proyectar?
  - Energía renovable, diversión, instrumento didáctico fácil de usar.
- ¿En qué contexto se insertará?
  - Contexto de innovación

### Requerimientos especiales

- Existen requerimientos o cuidados especiales con el producto?
  - No se puede mojar, choques fuertes .
- ¿Qué riesgos se pueden correr al utilizar/fabricar/manufacturar/distribuir el producto?
  - Con la maquinaria, accidentes de transporte.

### Requerimientos de ciclo de vida

- ¿Cuánto tiempo se espera dure el producto?
  - 3 años
- ¿Qué se hará con el producto cuando terminé su vida útil?
  - Reciclar materiales.
- ¿Cómo podría facilitarse su reciclaje/reúso?
  - Haciendo que el usuario regrese el producto a la empresa dándole un descuento en la compra de un nuevo dispositivo.
- ¿Existen partes del producto que no puedan reciclarse o reusarse?
  - La batería .
- ¿Qué pasa con los desechos residuales del producto?

- La empresa se encarga del tratamiento final de los componentes.



# Bibliografía

- [Burton et al., 2011] Burton, T., Jenkins, N., Sharpe, D., and Bossanyi, E. (2011). *Wind energy handbook*. John Wiley & Sons.
- [EIA, 2016] EIA (2016). Mexico Energy Outlook: Energy Information Administration.
- [EIA, 2017] EIA (2017). International Energy Outlook: Energy Information Administration .
- [Franco et al., 2016] Franco, J., Sánchez Mora, M. d. C., Reynoso Haynes, E., Namihi-ra Guerrero, R., Rodríguez, C. E., Villarreal Peralta, E. M., Pavón Jiménez, C., Morales Escobar, A., Nestor, M., Patricia, A., et al. (2016). Ciencia y tecnología: una mirada ciudadana.
- [Gerardo, 2011] Gerardo, R. M. (2011). Manual de diseño industrial. *Curso básico*. Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. Edit. GG. México.
- [Goetzberger and Hoffmann, 2005] Goetzberger, A. and Hoffmann, V. U. (2005). *Photovoltaic solar energy generation*, volume 112. Springer Science & Business Media.
- [Harper, 2005] Harper, G. E. (2005). *El libro práctico de los generadores, transformadores y motores eléctricos*. Editorial Limusa.
- [Hau and von Renouard, 2003] Hau, E. and von Renouard, H. (2003). *Wind turbines: fundamentals, technologies, application, economics*. Springer.
- [ICSID, 2017] ICSID (2017). International Council of Societies of Industrial Design.
- [IPCC, 2011] IPCC, I. P. o. C. C. (2011). Fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático.
- [IRENA, 2017] IRENA (2017). International Renewable Energy Agency .
- [Manwell et al., 2010] Manwell, J. F., McGowan, J. G., and Rogers, A. L. (2010). *Wind energy explained: theory, design and application*. John Wiley & Sons.



- [Mateo Hernández, 2012] Mateo Hernández, J. M. (2012). Qué es el diseño industrial. *Ozestudi*.
- [Meinel and Meinel, 1982] Meinel, A. B. and Meinel, M. P. (1982). *Aplicaciones de la energía solar*. Reverté.
- [Méndez and Cuervo, 2007] Méndez, J. and Cuervo, R. (2007). Energía solar fotovoltaica. *Fundación Confemetal, Madrid*, pages 27–28.
- [Munoz-Rojas and Moya, 2016] Munoz-Rojas, D. and Moya, X. (2016). *Materials for Sustainable Energy Applications: Conversion, Storage, Transmission, and Consumption*. Pan Stanford.
- [NASA, 2018] NASA, A. S. D. C. (2018). NASA Surface meteorology and Solar Energy - Location.
- [Pahl and Beitz, 2013] Pahl, G. and Beitz, W. (2013). *Engineering design: a systematic approach*. Springer Science & Business Media.
- [Rebolledo, 2007] Rebolledo, F. (2007). *La ciencia nuestra de cada día*, volume 216. Fondo de Cultura Económica.
- [SENER, 2017] SENER (2017). Reporte de avance de energías limpias en México .
- [Tiwari and Mishra, 2012] Tiwari, G. N. and Mishra, R. K. (2012). *Advanced renewable energy sources*. Royal Society of Chemistry.